

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Estudo do Tratamento Mecânico-Biológico de Resíduos Sólidos Urbanos

Naraiana Sá Lima

Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

2014

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Estudo do Tratamento Mecânico-Biológico de Resíduos Sólidos Urbanos

Naraiana Sá Lima

Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Trabalho realizado sob a supervisão de Santino Eugénio Di Berardino

2014

Agradecimentos

A realização desta dissertação simboliza uma etapa final na minha vida e, portanto, sinto-me grata por toda a ajuda que me foi dada para a sua concretização.

A nível académico, manifesto apreço pela possibilidade de realização do presente trabalho e pela formação prestada e conhecimentos transmitidos. Agradeço ao meu orientador, Prof.º Doutor Santino Eugénio Di Berardino Investigador Principal no LNEG e Professor Associado convidado da FCUL pela sua disponibilidade, conhecimentos transmitidos e incentivo prestado, bem como pelo interesse demonstrado pelo tema.

A nível profissional, agradeço a alguns colaboradores da empresa Painhas S.A., em especial ao Engenheiro Nuno Alves pela forma amável e atenciosa como fui recebida nas respetivas instalações, fornecimento de material de apoio e pelo privilégio de visitar uma das instalações de Tratamento Mecânico-biológico.

Agradeço também a todos os meus amigos da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa pela troca de conhecimentos, pela força e confiança que depositaram em mim neste crescimento académico.

Por último, agradeço a todos os meus familiares pelo apoio incondicional ao longo destes anos e todas as pessoas que depositaram confiança em mim e me ajudaram a ser quem sou.

Abstract

From ancient times man disposes the waste he produces, leaving them without any treatment. Until the beginning of the twentieth century the methods used for disposal consisted in deposition dumps without any kind of environmental awareness. Given this situation Portugal managed to eliminate all the bins at the end of the last century, through landfills, with control of gaseous emissions and liquid effluents, which currently serve about 60% of domestic waste. The landfill is permitted to guarantee the health and environmental control of waste and has still allowed to install biogas powered generators with more than 20? MW of power. However nowadays the deposition of organic waste in landfills is being progressively limited by the European Directive 1999/31 / EC, Portugal adopted ceasing to be a solution to any strategy for managing solid waste.

This Directive requires that organic matter must be previously separated from garbage, requiring the separation and sorting at source. However, since the implementation of a selective collection takes time and involves the collaboration of the public, the Portuguese authorities decided, in order to fulfill the commitments, proceed with the implementation of the call-Biological Mechanical Treatment (MBT) which has been the most developed solution increasingly applied in Portugal, in recent years. However, this solution has also being criticized, because the separate fractions of waste from the TMB do'nt have the same quality as what the one which is separated in origin, requiring expensive machinery, spending copious energy and maintenance costs.

In this study it's analyzed is a very complete treatment unit still under construction, in which are described all the equipment and processes that compose it.

Physical data on national compositions of MSW UTMB were all collected in order to calculate the amount of waste recovered for recycling.

It also examined the contribution of this type of treatment to achieve the goals of recycling and diversion of waste from landfill, imposed by the European Union, considering that no new UTMB would be built.

We concluded that the UTMB play an important role in waste management, but their contribution is not enough to achieve the proposed targets and will require significant investment. In a society that demands sustainability, the separation at the source and the citizen participation are the most effective way to achieve this purpose. The inclusion of end-of-line treatments such as UTMB, although necessary at a certain stage of the evolution of waste treatment, are a solution to avoid.

Keywords: Mechanical-Biological Treatment; solid waste management; Recycling; Landfill.

Resumo

Desde tempos muito longínquos que o homem desfaz-se dos resíduos que produz, abandonando-os sem qualquer tipo de tratamento. Até ao início do século XX os métodos utilizados para a sua eliminação consistiam na deposição em lixeiras sem qualquer tipo de consciência ambiental. Em face dessa situação Portugal conseguiu eliminar todas as lixeiras, no final do século passado, através de aterros sanitários, com controlo das emissões gasosas e dos efluentes líquidos, que atualmente servem cerca de 60 % do lixo nacional. A deposição em aterro tem permitido garantir o controlo sanitário e ambiental do lixo e ainda tem permitido instalar geradores alimentados a biogás com mais de 20? MW de potência. Contudo hoje em dia a deposição de resíduos orgânicos em aterros está a ser progressivamente limitada pela Diretiva Europeia 1999/31/CE, que Portugal adotou, deixando de ser uma solução para qualquer estratégia de gestão de resíduos sólidos urbanos.

Esta diretiva implica que a matéria orgânica deve ser separada previamente do lixo, requerendo a separação e triagem na origem. Contudo, dado que a implementação duma recolha seletiva demora tempo e envolve a colaboração do público, as autoridades portuguesas decidiram, para poder respeitar os compromissos, proceder à implementação do chamado Tratamento Mecânico-Biológico (TMB) que tem sido a solução mais desenvolvida e cada vez mais aplicada em Portugal, neste últimos anos. Esta solução não é isenta de críticas, pois as frações separadas do lixo proveniente do TMB não tem a mesma qualidade que o que é separado na origem, exige maquinaria dispendiosa, gasta energia avultada e necessita de manutenção.

Neste estudo é analisado uma unidade de tratamento muito completa ainda em construção, onde são descritos todos os equipamentos e processos que a compõe.

Foram recolhidos dados sobre as composições físicas dos RSU de todas as UTMB nacionais a fim de calcular a quantidade de resíduos recuperados para reciclagem.

É analisado também a contribuição deste tipo de tratamento para o alcance das metas de reciclagem e de desvio de deposição em aterro dos resíduos, impostas pela União Europeia, considerando que nenhuma nova UTMB viria a ser construída.

Conclui-se que as UTMB desempenham um papel importante na gestão de resíduos, mas a sua contribuição não é suficiente para atingir as metas propostas e implica grandes investimentos. Numa sociedade a procura da sustentabilidade, a separação na origem e a participação do cidadão são a forma mais eficaz para se atingir esta finalidade. A inserção de tratamentos de fim de linha como os UTMB, embora necessários numa determinada fase da evolução do tratamento dos resíduos, são uma solução a evitar.

Palavras-chave: **Tratamento Mecânico-Biológico; Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos; Reciclagem; Aterro.**

Índice

Agradecimentos.....	iii
Abstract	iv
Keywords:	iv
Resumo.....	v
Palavras-chave:.....	vi
Objetivos	1
1. Introdução.....	2
2. Revisão da Literatura	4
2.1 Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos	4
2.2 Resíduos de Embalagem	4
2.3 Enquadramento Legislativo.....	7
2.4 Agentes envolvidos na gestão de resíduos em Portugal Continental	9
2.5 Tratamento Mecânico-Biológico.....	12
2.5.1 Definição	12
2.5.2 Descrição dos processos.....	12
2.5.3 Vantagens e desvantagens do Tratamento Mecânico-Biológico de indiferenciados	24
2.5.4 Custos de investimento.....	25
3. Caso de Estudo	29
3.1 Unidade de Tratamento Mecânico-Biológico de Mirandela.....	29
3.2 Tratamento Mecânico.....	32
3.3 Tratamento Biológico.....	46
3.3.1 Compostagem.....	46
3.3.2 Biometanização	51
4. Análise de Dados.....	55
5. Considerações Finais.....	62
5.1 Objectivos/Metas previstas	62

5.2	Valores de investimento segundo PERSU 2020:	64
6.	Conclusão	65
6.1	Orientação para estudos futuros	66
7.	Bibliografia	67

Índice de Figuras

Figura 1 – Resíduos Sólidos Urbanos depositados em aterro nos países da Europa entre 2002 e 2011.	5
Figura 2 – Resíduos Sólidos Urbanos produzidos e tratados em 2011.	6
Figura 3 Destino dos Resíduos Sólidos Urbanos nos diferentes países europeus em 2011	6
Figura 4 Sistemas de Gestão de Resíduos (Municipais e Intermunicipais) em Portugal Continental	9
Figura 5 - Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagem	11
Figura 6 Algumas técnicas de Abre-Sacos	13
Figura 7 Crivo Rotativo ou Trommel	14
Figura 8 Separador Balístico	14
Figura 9 Corrente de Foucault	15
Figura 10 Separador Magnético	15
Figura 11 Separador Óptico	16
Figura 12 Exemplo de evolução da temperatura numa pilha e o número de vezes que é utilizado a Revolteadora	17
Figura 13 Relação C/N durante a compostagem. (COMP, 2007)	17
Figura 14 Perfil da temperatura numa pilha. (PAINHAS ,2014)	18
Figura 15 Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico de Mirandela	30
Figura 16 Municípios do Sistema Intermunicipal de Gestão de RSU no Nordeste Transmontano. (PAINHAS,2014)	31
Figura 17 Densidade populacional por concelho na área em estudo no ano de 2001	32
Figura 18 Pavilhão onde são descarregados os Resíduos Sólidos Urbanos	33
Figura 19 Tapete que transporta o material dosificado desde o transportador de alimentação até à triagem manual	33
Figura 20 Zona onde ocorre a triagem manual	34
Figura 21 Trommel de selecção por crivagem	35
Figura 22 Tapete que transporta os materiais para a Compostagem	35
Figura 23 Tapete que transporta os materiais para a Biometanização	36
Figura 24 . Trommel de crivagem, onde separa os materiais superiores e inferiores a 40mm	36
Figura 25 Separador Magnético constituído por um electroímã	36

Figura 26 Triagem manual dos materiais com granulometria superior a 200mm e dos materiais planos procedentes do Separador Balístico.	37
Figura 27 Tapete Transportador que transporta os materiais com dimensões entre 90mm e 200mm para o Separador Balístico.	38
Figura 28 Separador Balístico.	38
Figura 29 Tapete que transporta os materiais com granulometria superior a 200mm e materiais planos procedentes do Separador Balístico para a Triagem Manual.	39
Figura 30 . Separador Magnético, onde separa os materiais procedentes da triagem.	39
Figura 31 Perfurador de Garrafas.	40
Figura 32 Silos de armazenamento.	40
Figura 33 Tapete que transporta os materiais armazenados nos silos.	41
Figura 34 Triagem manual dos materiais armazenados nos silos.	41
Figura 35 Aspiração de Plástico Filme.	42
Figura 36 Tremonha ao nível do solo ainda em construção.	42
Figura 37 Transportador de borracha que transporta os rejeitados para o contentor.	43
Figura 38 Balanço mássico previsto para o Tratamento Mecânico em Mirandela.	45
Figura 39 Saída da matéria orgânica do pré-tratamento e entrada na zona de carga dos tuneis de Compostagem.	47
Figura 40 Tuneis de compostagem.	47
Figura 41 Biofiltro.	48
Figura 42 Revolteadora.	49
Figura 43 Zona de Afinação ainda em construção.	49
Figura 44 Máquinas de ensacamento-pesagem.	50
Figura 45 Aterro Sanitário.	50
Figura 46 Unidade Doseadora.	51
Figura 47 Bomba de Alimentação.	52
Figura 48 Biodigestor.	52
Figura 49 Gasómetro.	53
Figura 50 Quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos à entradas das Unidades de Tratamento Mecânico-Biológicas entre 2012 e 2020 em Portugal Continental.	57

Figura 51 Evolução dos quantitativos dos RUB depositados em aterro.	59
Figura 52 Estimativa de RUB depositados em aterro até 2050 segundo o Relatório Anual de Resíduos Urbanos realizado pela APA.	59
Figura 53 Evolução do resultado da preparação para reutilização e reciclagem até 2012.....	60
Figura 54 Evolução da preparação para reutilização e reciclagem até 2050.	61

Índice de Tabelas

Tabela 1 Metas percentuais de resíduos admissíveis em aterro. (admitindo que, de acordo com a Eurostat, em 1995 foram produzidos 2 252 720Mg de RUB).	8
Tabela 2 Estudo realizado pela ERSUC sobre investimentos de UTMB internacionais. (ERSUC,2016)	26
Tabela 3 Investimento de uma UTMB da ERSUC	26
Tabela 4 Custos variáveis da UTMB relativamente ao custo de tratamento de CDR da ERSUC. (ERSUC,2016)	27
Tabela 5 Custos invariáveis associados ao TMB da ERSUC. (ERSUC,2016).....	27
Tabela 6 Receitas associadas ao TMB da ERSUC.	28
Tabela 7- Taxa de recuperação prevista de Resíduos Sólidos Urbanos no TM.....	44
Tabela 8 Quantidade de resíduos processados até 2050 segundo PERSU II.....	55
Tabela 9 Caracterização média dos RSU no indiferenciado.....	56
Tabela 10 Quantidade de Resíduos de Embalagem para reciclagem nas Unidade de Tratamento Mecânico-Biológicas.....	58
Tabela 11 Caracterização das Unidades de Tratamento Mecânico-Biológicas em Portugal Continental.	72
Tabela 12 Quantidade RE nas UTMB de resíduos indiferenciados.	73
Tabela 13 Quantidade de Resíduos enviados para reciclagem resultante de diferentes tipos de tratamentos.	73
Tabela 14 RUB depositados em aterro em Portugal Continental.	73

Lista de abreviaturas

AB - Anaerobização

AMCAL – Associação de Municípios do Alentejo Central

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

C - Compostagem

CCDR – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional

CDR – Combustível Derivado dos Resíduos

CI – Central de Incineração

COV – Composto Orgânico Volátil

DA- Digestão Anaeróbia

ECAL – Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos

EGF – Empresa Geral do Fomento

EGSRA – Associação de Empresas Gestoras de Sistemas de Resíduos

EMAS - Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos

MOR – Mercado Organizado de Resíduos

P/C – Papel/Cartão

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PERSU – Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos

PET – Politereftalato de Etila

PPRU – Plano de Prevenção de Resíduos Urbanos

REACH - Registration, evaluation and authorisation of chemicals

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

RU – Resíduos Urbanos

RUB – Resíduos Urbanos Biodegradáveis

SIGRE – Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagens

SMAUT – Sistema Municipal ou Intermunicipal de Gestão de Resíduos

SPV – Sociedade Ponto Verde

TB – Tratamento Biológico

TM – Tratamento Mecânico

TMB – Tratamento Mecânico-Biológico

UE – União Europeia

UTMB – Unidade de Tratamento Mecânico-Biológico

Objetivos

A realização deste trabalho tem por objetivo o estudo e avaliação do Tratamento Mecânico-biológico tendo em vista definir a importância da sua implementação em Portugal e avaliar o seu contributo para o alcance das metas de reciclagem e de eliminação de matéria orgânica colocada em aterro, relativamente aos resíduos sólidos urbanos.

Com o estudo e avaliação sobre este tipo de tratamento é possível perspetivar a situação até ao ano de 2050, relativamente às taxas de recuperação de reciclagem e de redução da matéria orgânica deposta em aterro.

De forma a conhecer a realidade deste sector, apresenta-se um caso de estudo nacional, abordando assuntos sobre materiais, métodos e resultados quantitativos.

1. Introdução

Esta dissertação divide-se em 7 capítulos:

Neste capítulo encontra-se uma pequena introdução indicando a relevância do tema escolhido

No capítulo 2 encontra-se uma revisão da literatura de forma a descrever o plano estratégico para os RSU, as políticas e as legislações a nível nacional relativamente à reciclagem e deposição em aterro. É realizada uma breve descrição dos agentes envolvidos na Gestão de Resíduos em Portugal Continental e ainda dos processos de TMB, indicando as suas vantagens e desvantagens.

O capítulo 3 descreve todos os processos da Unidade de Tratamento Mecânico-Biológico de Mirandela: Pré-tratamento, Compostagem e Biometanização.

No capítulo 4 são calculados e analisados todos os resultados referentes às capacidades de processamento das UTMB e o seu potencial de reciclagem. Considerou-se que não seriam construídas novas UTMB e projetou-se um cenário até 2050. Também se realizou uma análise da contribuição das UTMB para o alcance das metas de reciclagem e aterro relativamente aos resíduos urbanos.

No capítulo 5 encontram-se as considerações finais onde são abordadas algumas formas de prevenção de resíduos sólidos urbanos e custos de investimentos com base no estudo realizado nos capítulos anteriores.

O capítulo 6 consiste na conclusão final do estudo, onde se descrevem as limitações durante o estudo e as linhas de orientação para trabalhos futuros.

O ser humano desde sempre teve a necessidade de conservar e armazenar os seus alimentos como forma de prolongar a sua duração, utilizando embalagens para apoiar a sua conservação e melhorar o aspecto do produto. Hoje em dia existe um avultado aumento de resíduos e de materiais de embalagem, que representam um potencial químico e energético importante, acabando em aterros, a forma tradicional de disposição desses resíduos. Os aterros são uma solução insustentável, que aumenta os impactos negativos a nível de ocupação do solo. Quando bem realizado protege adequadamente a saúde humana e ambiental e é uma solução de baixo custo. Os aterros podem ser transformados em aterros sustentáveis, mas esta evolução não tem tido muitos seguidores. A estratégia planeada de modo a não comprometer o meio ambiente e, consequentemente, a qualidade de vida da população assenta na reciclagem e na recuperação dos produtos, estando traçadas metas definidas na EU. Os países mais desenvolvidos apresentam uma elevada taxa de separação na origem dos resíduos por recolha seletiva.

Em Portugal as autoridades têm vindo a recorrer ao TMB, uma solução que separa e recupera componentes. Mas é um sistema de fim de linha e por isso não corresponde a um procedimento sustentável. É necessário estabelecer novas estratégias.

2. Revisão da Literatura

2.1 Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos

Até final dos anos 90 a gestão de resíduos em Portugal consistia na recolha e deposição em lixeiras a céu aberto, sobre solo não protegido, sem qualquer controle ambiental e para a saúde pública. Foi no ano de 1997 que o governo aprovou o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), com uma meta de 10 anos. Pela primeira vez, os aterros não controlados e as lixeiras foram encerradas e foram construídas novas infraestruturas de valorização e deposição final dos resíduos. O PERSU contribuiu também para o licenciamento de entidades gestoras de fluxos especiais de resíduos. Este documento promoveu também o comportamento dos cidadãos no sentido de separar os resíduos na origem.

Após 10 anos, de forma a intensificar as políticas de redução, reciclagem e reutilização, procedeu-se à elaboração do PERSU II, visto que Portugal não estava a cumprir as metas fixadas pela directiva era necessário definir uma nova estratégia. Este novo plano defendeu o reforço da prevenção dos resíduos sólidos urbanos, conferindo uma abordagem de todo o ciclo de vida dos produtos e materiais e a redução dos impactes ambientais associados à produção e gestão dos resíduos. Um dos principais objetivos deste plano é desviar os resíduos biodegradáveis dos aterros, sendo direccionados para os tratamentos mecânicos e biológicos com recuperação de energia, permitindo uma melhor aproximação no que se refere ao cumprimento das metas de desvio de aterro na Diretiva Aterro, reduzindo as emissões de gases com efeito de estufa. (PERSU,2007)

2.2 Resíduos de Embalagem

A sociedade Ponto Verde, fundada em 1996, é uma entidade privada sem fins lucrativos com vista a promover a recolha seletiva, retoma e reciclagem de resíduos de embalagem em Portugal. Tem como função organizar e gerir a retoma e valorização dos resíduos de embalagem através do Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagem. (SPV,1996-2014)

De acordo com o Decreto-Lei nº366-A/97, de 20 de Dezembro, considera-se Embalagem “todos e quaisquer produtos feitos de materiais de qualquer natureza utilizados para conter, proteger, movimentar, manusear, entregar e apresentar mercadorias, tanto matérias-primas como produtos transformados, desde o produtor ao utilizador ou consumidor, incluído todos os artigos descartáveis utilizados para os mesmos fins”. (Dec.Lei, 1997)

Entende-se por resíduo “qualquer substância ou objeto de que o ser humano pretende desfazer-se por não lhe reconhecer utilidade”. Com o aumento do consumo dos produtos, o destino dos resíduos

tornou-se um caso de preocupação. Por isso, a redução dos resíduos possui para além de um importante interesse económico, um interesse ambiental. (Dec.Lei, 2006)

A figura abaixo apresenta o total de RSU enviados para aterro nos países da Europa nos anos de 2002 e 2011. Estes dados foram retirados do Eurostat (Gabinete de Estatística da União Europeia), sendo uma organização que produz dados estatísticos e promove a harmonização dos métodos entre os estados membros.

Verifica-se através da figura 1, existe uma diminuição significativa da deposição de RSU em aterro em Portugal entre 2002 e 2011, provavelmente devido a uma melhor gestão de resíduos ou a uma redução de resíduos fruto da crise que o país atravessa.

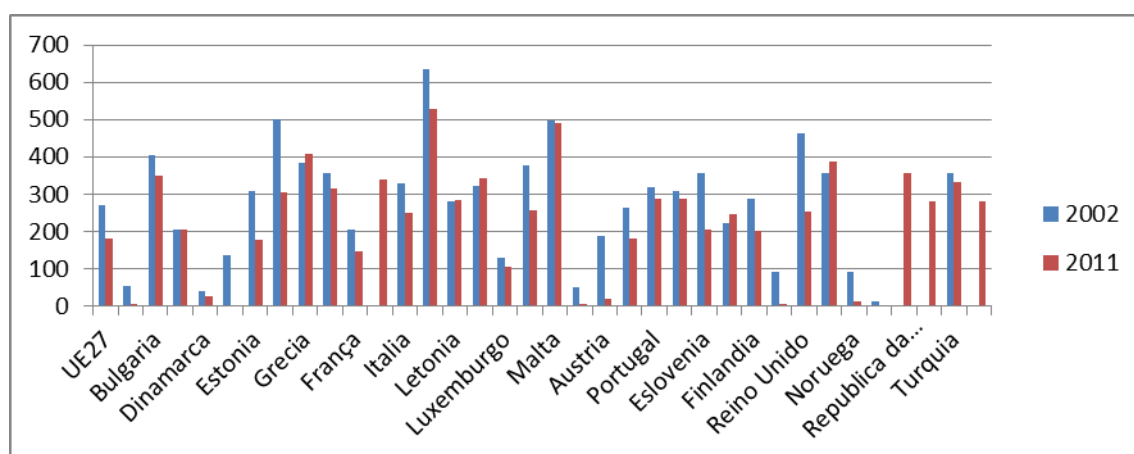


Figura 1 – Resíduos Sólidos Urbanos depositados em aterro nos países da Europa entre 2002 e 2011.

Segundo o Eurostat, em 2011 foram produzidos, em Portugal, aproximadamente 503kg/pessoa de RSU, dos quais 486kg/pessoa foram tratados. Dos resíduos tratados, 37% foram enviados para o aterro, 23% foram incinerados, 25% foram reciclados e 15% reencaminhados para a compostagem. Estes valores tornam-se positivos quando se comparam aos valores de 2001 (56% enviados para aterro, 17% incinerados, 17% reciclados e 10% enviados para a compostagem). (Eurostat, 2013)

A quantidade de RSU produzidos varia significativamente entre os vários países. Verifica-se na figura abaixo, a Dinamarca com 718kg/pessoa teve a maior quantidade de resíduos gerados em 2011, seguido de Luxemburgo, Chipre e Irlanda.

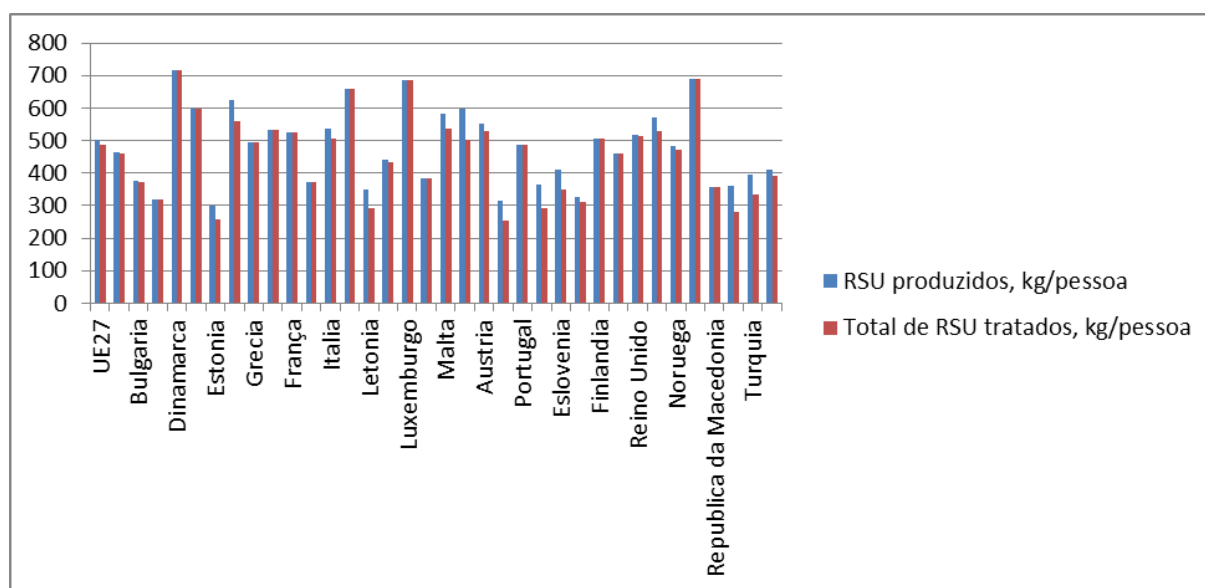


Figura 2 – Resíduos Sólidos Urbanos produzidos e tratados em 2011.

Observa-se na figura 3 que a reciclagem é mais comum na Alemanha, a incineração na Dinamarca e a compostagem na Áustria. Em Portugal, 59% são depositados em aterro, 21% enviados para incineração, apenas 12% reciclados e 8% compostados.

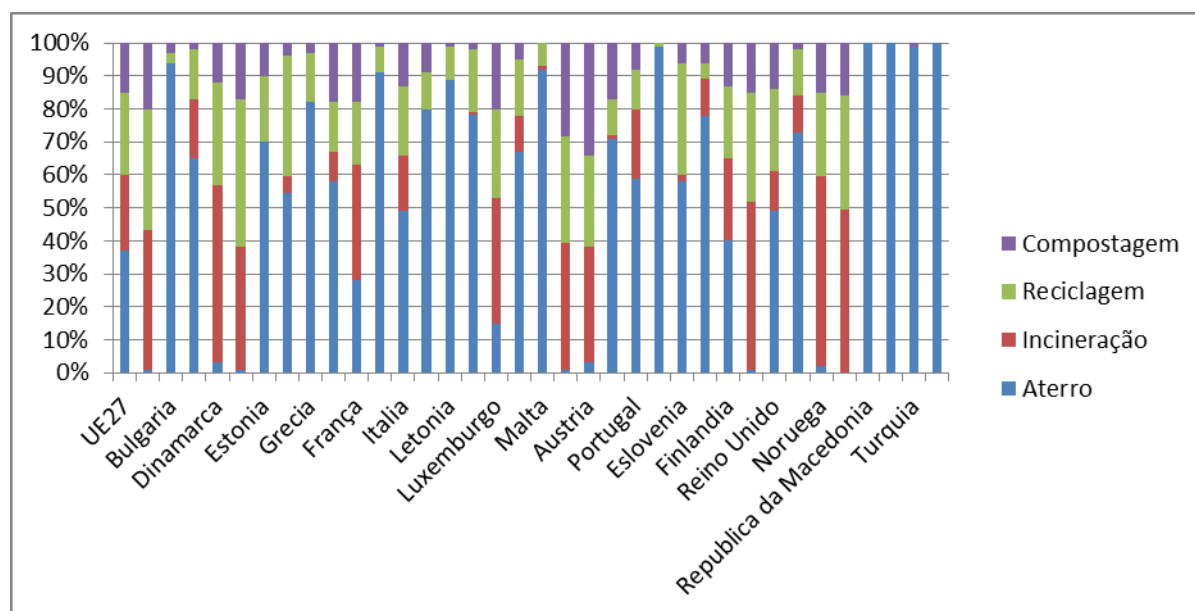


Figura 3 Destino dos Resíduos Sólidos Urbanos nos diferentes países europeus em 2011

Torna-se necessário diminuir o valor da percentagem de deposição de resíduos em aterro em Portugal. Este processo poderá ser possível através da compostagem, digestão anaeróbia da fração orgânica e da

reciclagem, estabelecendo metas quantitativas e medidas prioritárias de triagem e tratamentos alternativos.

2.3 Enquadramento Legislativo

Devido às exigências da UE, a legislação portuguesa relativamente aos resíduos sólidos tem sido alterada nos últimos anos.

Em 1985 sai a Diretiva 85/339/CEE sobre as embalagens de ECAL. Esta diretiva tem como principal objetivo a redução do impacto ambiental das embalagens, através da redução de consumo de energia e matérias-primas utilizadas no fabrico, bem como redução, reutilização e reciclagem. (Directiva,1985)

De acordo com o Decreto-Lei 152/2002, que transpõe a Diretiva 1999/31/CE, os resíduos podem ser classificados em perigosos, não perigosos, inertes e com origem em doméstico, publico, comercial, industrial, hospitalar, etc. (Dec.Lei,2002)

- *Características:*
 - Resíduos perigosos – apresentam características de perigosidade para a saúde ou ambiente (com poder de explosão, combustibilidade, toxicidade, características cancerígenas, etc.);
 - Resíduos não perigosos – não apresentam características de perigosidade para a saúde ou ambiente (a concentração de eluato situa-se numa gama entre o valor estipulado para os resíduos inertes e o valor mínimo fixado para os resíduos perigosos);
 - Resíduos inertes – quando depositados em aterro não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas importantes.
- *Origem:*
 - Resíduo sólido urbano – proveniente ou semelhante ao resíduo proveniente de habitações (entulhos de obras, especiais equiparados, hospitalares equiparados, industriais equiparados, comerciais, públicos, domésticos);
 - Resíduo industrial – resultante de processos produtivos industriais;
 - Resíduo hospitalar - produzido em unidades hospitalares, clinicas, farmácias, etc..
 - Outros tipos de resíduos.

Segundo a DIRECTIVA 2008/98/CE, transposta no Decreto-Lei n° 73/2011, é definido o princípio da hierarquia dos resíduos, respeitando a seguinte ordem de prioridades no que se refere às opções de prevenção e gestão de resíduos, assegurando a eficiência na utilização de recursos naturais e minimizando os impactos ambientais negativos:

1. Prevenção e redução;
2. Reutilização;
3. Reciclagem;
4. Outros tipos de valorização;
5. Eliminação.

De acordo com esta hierarquia, a prioridade máxima é a prevenção de resíduos. Quando esta não é possível, privilegia-se a reutilização e a reciclagem. A Valorização é um processo de queima, produzindo energia, onde há um maior controlo sobre os gases produzidos. Por fim, a deposição dos resíduos em aterro deverá ser reduzida, sendo considerada como última opção. (Diretiva, 2008)

Segundo Decreto-Lei n.º 73/2011, o governo considera prioritário reforçar a prevenção da produção de resíduos e fomentar a sua reutilização e reciclagem com vista a prolongar o seu uso na economia, antes de os devolver em condições adequadas ao meio natural. Prevê a aprovação de programas de prevenção e estabelecem metas de reutilização, reciclagem e outras formas de valorização material de resíduos a cumprir até 2020. (Dec.Lei, 2011)

A Diretiva 1999/31/CE é relativa à deposição de resíduos em aterro. Esta diretiva estabelece três períodos (2006, 2009 e 2016) tendo como objetivo minimizar a deposição de RUB em aterro. (Diretiva, 1999)

Tabela 1 Metas percentuais de resíduos admissíveis em aterro. (admitindo que, de acordo com a Eurostat, em 1995 foram produzidos 2 252 720Mg de RUB).

Data	% Admissível em aterro	Quantitativos Admissíveis t
2006	75	1 689 540
2009	50	1 126 360
2016	35	788 452

O Decreto-Lei nº210/2009 de 3 de Setembro estabelece a atividade do Mercado Organizado de Resíduos, atualmente alterado pelo Decreto-Lei nº73/2011. O MOR é um espaço de negociações que se baseia em plataformas eletrónicas que suportam a negociação de resíduos. A gestão das plataformas de negociação será assegurada por Entidades Gestoras. MOR tem por objetivo facilitar e promover as trocas comerciais de diversos tipos de resíduos, potenciar a valorização e reintrodução de resíduos no circuito económico, diminuir a procura de matérias-primas virgens e promover simbioses industriais, contribuindo para a modernização tecnológica. (MOR,2014)

2.4 Agentes envolvidos na gestão de resíduos em Portugal Continental

SMAUT: existem 23 Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos cobrindo a totalidade do território continental, sendo 12 Multimunicipais e 11 Intermunicipais. Cada um destes sistemas possui infraestruturas para assegurar um destino final adequado para os RSU produzidos na área respetiva. A AMCAL e o grupo EGF são sistemas multimunicipais. A EGSRA surgiu como entidade congregadora das sinergias de cada uma das 11 empresas intermunicipais (Braval, Lipor, Ambisousa, Resíduos do Nordeste, Ecobeirão, A.M. Raia Pinhal, Resitejo, Tratolixo, Gesamb, Ambilital e Resialentejo). (SGRU,2014)

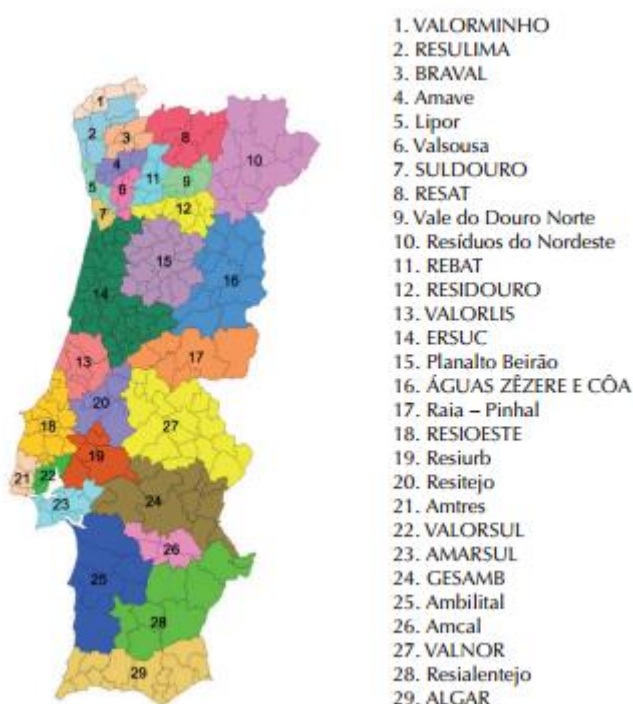


Figura 4 Sistemas de Gestão de Resíduos (Municipais e Intermunicipais) em Portugal Continental

APA: exercer funções de Autoridade Nacional de Resíduos, ou seja, assegurar e acompanhar a execução da estratégia nacional para os resíduos, mediante o exercício de competências próprias de licenciamento, da emissão de normas técnicas aplicadas à gestão de resíduos, desempenho de tarefas de acompanhamento das atividades de gestão de resíduos e uniformização dos procedimentos de licenciamento. (APA,2014)

ERSAR: entidade reguladora da gestão de resíduos urbanos, tendo como objetivo defender os direitos dos consumidores utentes dos sistemas multimunicipais e municipais e assegurar a sustentabilidade económica destes. Tem como objetivo a promoção da qualidade do serviço prestada pelas entidades gestoras e garantia de tarifários socialmente aceitáveis. (Dec.Lei,277/2009)

CCDR: serviços da administração direta do Estado, no âmbito do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento de Território. Tem como missão executar, avaliar e fiscalizar as políticas de ambiente, ordenamento de território e de desenvolvimento regional ao nível das áreas de atuação e apoiar as autarquias locais e associações, procurando soluções e contribuir para a superação dos constrangimentos ao desenvolvimento económico e social das regiões. (CCDR,2014)

MOR: Facilita as trocas comerciais de resíduos, valoriza e reintroduz os resíduos no circuito económico, contribuindo para a diminuição da procura de matérias-primas virgens. (MOR,2014)

SPV: A responsabilidade pela gestão e destino final dos resíduos de embalagens é das empresas embaladoras ou importadoras que colocam os produtos no mercado. No entanto, essa responsabilidade pode ser transferida para uma entidade devidamente licenciada, a Sociedade Ponto Verde. O Sistema Ponto Verde, também conhecido por SIGRE garante a gestão de um circuito assegurando a retoma, valorização e reciclagem de resíduos de embalagens não-reutilizáveis, diminuindo a deposição desses resíduos em aterro. (SPV,1996-2014)

A figura 4 representa o funcionamento de todo este sistema:



Figura 5 - Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagem

As empresas Embaladoras e Importadoras responsáveis pelos produtos embalados têm como função a colocação dos seus produtos no mercado nacional, assegurando o destino final das suas embalagens após o consumo.

Os distribuidores só podem comercializar embalagens não-reutilizáveis se estiverem abrangidos pelo Sistema Ponto Verde.

Os consumidores finais devem separar as embalagens usadas por tipo de material, colocando-as em recipientes próprios (ecopontos, ecocentros, sistemas de recolha porta-a-porta).

Os sistemas Intermunicipais ou multimunicipais de gestão de resíduos efetuam a recolha e triagem das embalagens, disponibilizando estes resíduos à SPV, que se encarrega de os encaminhar para valorização e reciclagem. Em contrapartida, o SMAUT recebe uma contribuição financeira por tonelada e tipo de material, compensando assim os custos adicionais que têm nas operações de recolha seletiva e triagem dos resíduos urbanos.

Os fabricantes de embalagem e materiais de embalagem e os retomadores são responsáveis pela retoma dos resíduos separados, garantindo a sua valorização ou reciclagem.

Para além do Sistema Integrado, existe também o Sistema de Consignação, aplicável às embalagens reutilizáveis e não reutilizáveis. No momento de aquisição da embalagem o consumidor fica sujeito ao pagamento de um depósito, sendo devolvido no ato de devolução da embalagem vazia. As embalagens são enviadas posteriormente para reciclagem através dos retomadores de embalagens. (SC APA, 2014)

Para além da SPV, foram constituídas outras entidades de gestão de resíduos como por exemplo a Valormed (embalagens de medicamentos), Valorfito (embalagens de fitofarmacêutico), Valorcar e Valorpneus (VFV e pneus), Sogilub (Oleos usados), etc.

2.5 Tratamento Mecânico-Biológico

2.5.1 Definição

O Tratamento Mecânico-Biológico é uma tecnologia que tem atraído bastante interesse nos últimos anos, uma vez que podem reduzir a dependência do uso do aterro e ao mesmo tempo evita a necessidade de incineração. São processos bastante utilizados em Portugal, sofrendo importante evolução, desenvolvimento e aperfeiçoamento na última década.

O Tratamento Mecânico-Biológico consiste no processamento de resíduos indiferenciados, utilizando uma combinação de processos mecânicos e biológicos de forma a satisfazer uma serie de objetivos. Assim, os sistemas de Tratamento Mecânico-Biológico variam na sua complexidade e funcionalidade. O processo divide-se em duas fases, a fase mecânica, onde ocorre a separação dos resíduos e remoção de algumas frações, possibilitando a obtenção de material passível de ser reciclado; e a fase biológica, onde ocorre a estabilização da fração orgânica de modo a tornar as suas características razoáveis para a utilização. Esta estabilização pode ser através de processos aeróbio ou anaeróbios, onde convertem a fração de resíduos biodegradáveis em composto (Digestão Aeróbia) ou em Biogás (Digestão Anaeróbia).

O grande objetivo deste tratamento é que o refugo encaminhado para o aterro sanitário seja em menores ou nulas quantidades e possua características menos desfavoráveis para o ambiente, reduzindo o lixiviado e as emissões de gás e prolongar a vida útil do aterro sanitário. (MBT, 2005)

2.5.2 Descrição dos processos

2.5.2.1 Triagem Manual

Uma vez que os resíduos apresentam um grau de heterogeneidade elevado, é necessário a remoção da fração inorgânica para obtenção da fração orgânica. Nos sistemas mais antigos essa remoção é feita manualmente pelos trabalhadores. Nesta etapa é necessário dar especial atenção ao conforto e segurança dos funcionários, nomeadamente o posicionamento dos contentores dos materiais

separados, velocidade do tapete de transporte, iluminação, ventilação, controlo de poeiras, uso de óculos, luvas e vestuário adequado. Os principais materiais removidos são materiais volumosos e os vidros. Nas linhas mais modernas a separação é automática como se verifica mais abaixo.

Abre-sacos:

Consiste em colocar lâminas no tambor do crivo rotativo, permitindo a crivagem e a abertura dos sacos. Atualmente existem métodos mais eficazes, que para além de romper também doseiam o material.

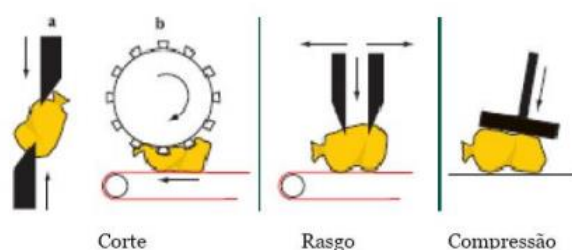


Figura 6 Algumas técnicas de Abre-Sacos

Crivo rotativo

O Crivo Rotativo, também designado Trommel, permite a separação dos materiais de diferentes dimensões. É constituído por um “tambor” perfurado inclinado. Normalmente o Trommel separa até três frações. A fração fina que cai pelos orifícios mais pequenos e é encaminhada para valorização orgânica, a fração média vai para o separador balístico e por fim a fração grande é encaminhada para uma triagem manual, onde ocorre a recuperação de materiais para reciclar.



Figura 7 Crivo Rotativo ou Trommel.

Separador Balístico

Este equipamento separa também três frações (materiais rolantes, planos e finos). É constituído por chapas perfuradas inclinadamente e paralelas umas às outras. A fração fina cai pelo orifício da chapa, a fração rolante é conduzido para a parte inferior por efeito da gravidade e por fim os materiais pesados deslocam-se para a parte superior do equipamento devido ao movimento das placas.

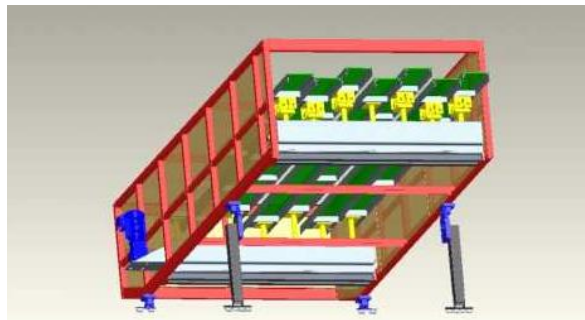


Figura 8 Separador Balístico.

Corrente de Foucault

Corrente de Foucault é uma corrente produzida por indução eletromagnética que, quando aplicada a materiais não-ferrosos, como o alumínio, permite a separação desses materiais do resto dos resíduos.

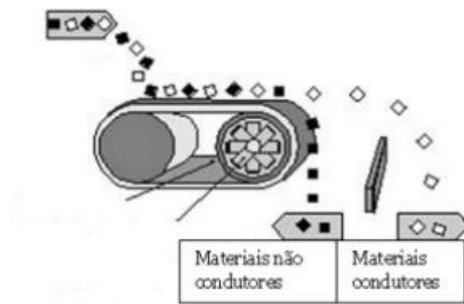


Figura 9 Corrente de Foucault.

Separador magnético

O separador magnético é constituído por um eletroímã que atrai todos os elementos ferrosos que circulam nos resíduos espalhados nos tapetes transportadores.

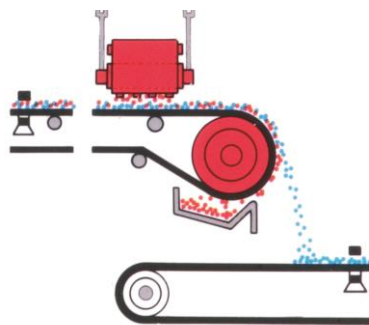


Figura 10 Separador Magnético.

Separadores Óticos

O separador ótico possibilita separação dos materiais de acordo com o tipo, forma e cor de cada um. Uma vez reconhecido o material, é disparado um jacto de ar para a fração desejada.

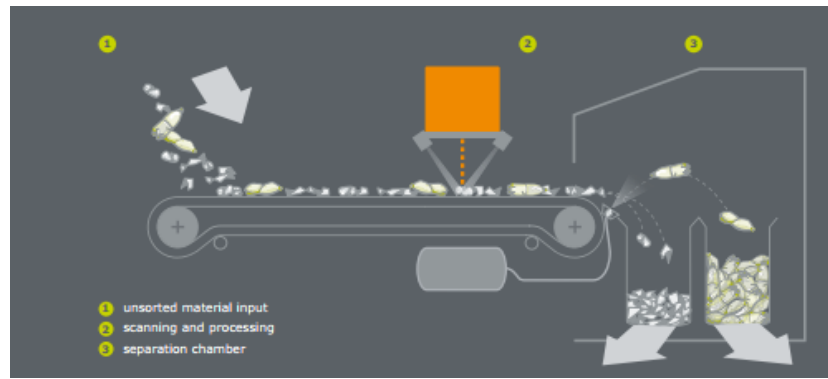


Figura 11 Separador Óptico.

Sistema de Aspiração

Este sistema de aspiração tem como objetivo aspirar material filme plástico, tornando o processo mais eficaz na separação do resto dos materiais.

Após o Tratamento Mecânico, ocorre o Tratamento Biológico, onde inclui a compostagem (digestão aeróbia) e/ou a digestão anaeróbia.

2.5.2.2 Compostagem

A compostagem consiste num conjunto de técnicas onde permite que a fração orgânica seja digerida e estabilizada de forma aeróbica, com finalidade de obter, em menor tempo possível, um composto, através da libertação de água, dióxido de carbono, iões inorgânicos e calor. (COMP,2000)

Esta obedece a quatro fases principais:

- Fase mesófila - Caracterizada pelo aumento da temperatura devido à degradação da matéria orgânica pela atividade dos microorganismos.
- Fase termófila – As temperaturas estão entre 45 a 60°C. Esta temperatura irá manter-se durante mais ou menos 4 dias, permitindo a higienização do composto.
- Fase do arrefecimento – Com a diminuição da atividade microbiana, diminui a temperatura.
- Fase de maturação – Matéria orgânica estabilizada.

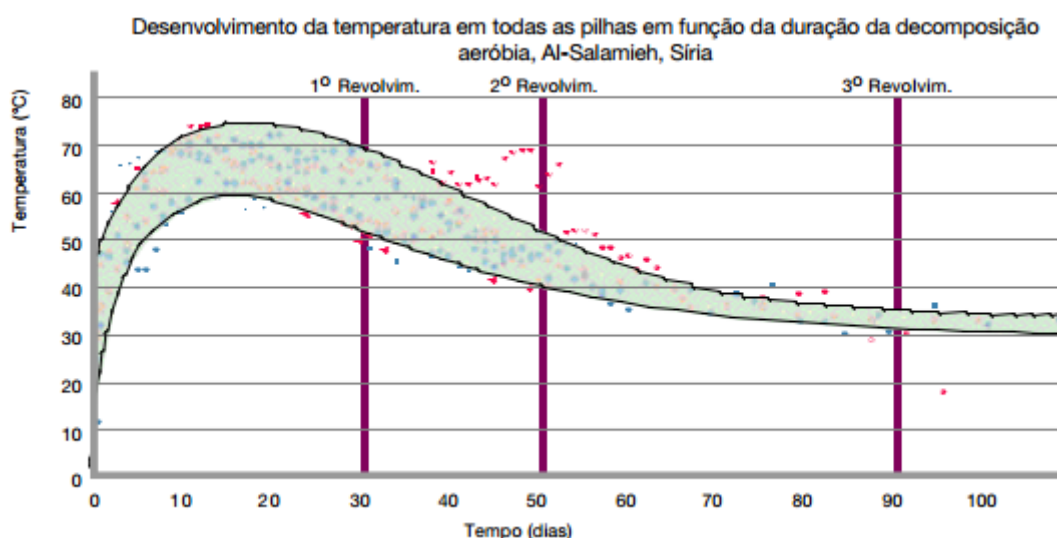


Figura 12 Exemplo de evolução da temperatura numa pilha e o número de vezes que é utilizada a Revolteadora.

Para obter um composto orgânico com qualidade é necessário um controlo sobre os diversos fatores durante o processo. Estes principais fatores afetam direta ou indiretamente o metabolismo dos microorganismos responsáveis pela decomposição dos resíduos. (PROC, 2009).

Relação Carbono/Azoto (C/N): Para uma utilização correta da matéria-prima a ser compostada é importante ter em atenção este indicador. A relação C/N depende dos microorganismos e do seu meio de crescimento. Os microorganismos utilizam o carbono numa quantidade 20 vezes superior à quantidade do azoto para as suas reações energéticas e de crescimento. A razão C/N adequada deve estar entre 15-30. No entanto, uma relação ótima C/N varia com as características do material a compostar. Excesso de carbono é enviado para a atmosfera sob a forma de amoníaco, causando valores indesejáveis.

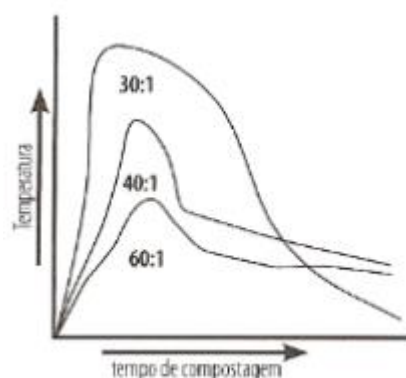


Figura 13 Relação C/N durante a compostagem. (COMP, 2007)

Humidade: A presença de água é fundamental para o bom desenvolvimento do processo. No entanto, a escassez ou o excesso de água pode desacelerar o processo de compostagem. A escassez provoca a estagnação do processo de decomposição e o excesso provoca a ocupação dos espaços vazios (porosidade) do material tornando a decomposição mais lenta e com odores desagradáveis.

Arejamento: O objetivo do arejamento é garantir as necessidades de oxigénio aos microrganismos aeróbios, remoção do excesso de calor e do vapor de água, permitindo uma boa secagem do material a compostar. A quantidade de O_2 a fornecer é importante para este processo de compostagem, uma vez que há um consumo de O_2 por parte dos organismos aeróbios, oxidando os substratos orgânicos necessários ao metabolismo. A Compostagem em meio aeróbio torna-se mais rápida, sem odores desagradáveis. No entanto, existem algumas substâncias responsáveis pelos odores desagradáveis, como por exemplo o amoníaco e compostos voláteis. (COMP,2014)

Temperatura: Este torna-se um dos fatores mais indicativos da eficiência do processo. O processo de compostagem envolve uma primeira fase, termofílica, em que ocorre o aumento da temperatura (45 a 65 °C) e a libertação de gases. Os organismos patogénicos presentes no composto são destruídos devido ao aumento da temperatura. Numa segunda fase, mesofílica, ocorre a redução da temperatura para valores inferiores a 45°C. Temperaturas acima de 65°C devem ser evitadas uma vez que eliminam os microorganismos ativos, responsáveis pela degradação dos resíduos orgânicos.

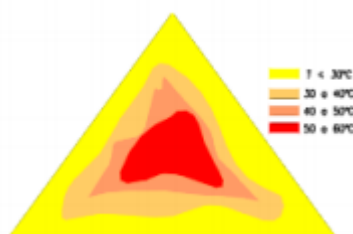


Figura 14 Perfil da temperatura numa pilha. (PAINHAS ,2014)

pH: Ao longo do processo de compostagem, o valor do pH vai variando com as transformações que ocorrem no substrato. No início do processo de compostagem, o composto poderá apresentar um pH ácido (entre 5 a 6). Nesta fase ocorre a produção de CO_2 e ácidos orgânicos. Aqui predominam os organismos mesófilos. Contudo, em poucos dias, poderá atingir pH 7, permanecendo assim até ao final do processo, devido às reações de maturação.

Microorganismos: A conversão da matéria orgânica bruta é um processo microbiológico operado por bactérias, fungos e actinomicetes. A predominância destas espécies de microrganismos e a sua atividade metabólica determina a fase em que se encontra o processo de compostagem.

Tamanho das partículas: A granulometria exerce grande influência no tempo de compostagem. Partículas maiores contribuem para uma melhor arejamento, no entanto, o tamanho excessivo apresenta menor exposição à decomposição, tornando o processo mais lento.

Dimensão da Pilha: Uma pilha ideal deveria apresentar forma triangular, com inclinação de 40° a 60°, largura 2 a 3,5 metros e altura 1,5 e 1,8 metros. Quanto mais baixa for a pilha, mais calor esta perde.

Segundo EDS.Norte, as principais vantagens e limitações da compostagem são (EDS,2014):

Vantagens:

- Durante o processo de compostagem ocorre apenas a formação de CO₂, H₂O e biomassa. É um processo de fermentação que ocorre com presença de O₂, permitindo a não formação de CH₄ (metano).
- A aplicação no solo e consequente redução dos resíduos sólidos em aterro, aumentando a sua vida útil.
- Melhoria na estrutura do solo, contribuindo para a vitalidade do solo e das plantas.
- Eliminação de fungos, bactérias e parasitas presentes na matéria-prima;
- Redução da necessidade de herbicidas e pesticidas químicos, aumentando a resistência das plantas a doenças e pragas;
- Ativação da vida microbiana no solo;
- Redução da contaminação e poluição nos solos e atmosférica;
- Sustentabilidade no uso e melhoramento da fertilidade do solo;
- Promove a reciclagem de nutrientes.

Desvantagens:

- Necessidade de mão-de-obra e de maquinarias especializadas;
- Necessidade de uma maior área de terreno, comparada a outros processos de tratamentos;
- Exige vigilância e manutenção das pilhas de compostagem, uma vez que existem fatores determinantes como a temperatura, humidade, presença de pequenos animais, etc.

Em Portugal, exceto a zona entre Douro e Minho, devido à exploração dos solos, só 35% são de aptidão agrícola e 12% são marginais. Isto deve-se ao facto das temperaturas elevadas e pouca humidade, favorecendo a perda de matéria orgânica.

2.5.2.3 Digestão Anaeróbia

Entende-se por Digestão Anaeróbia ou Biometanização um processo de mineralização da matéria orgânica em condições anaeróbias (ausência de oxigénio (O_2)), num sistema fechado, o digestor. Considera-se um ecossistema constituído por diversos grupos de microorganismos que interagem entre si, convertendo a matéria orgânica complexa em metano, gás carbónico, água, gás sulfídrico e amónia. A digestão anaeróbia de resíduos biodegradáveis dá origem à produção de biogás e de um produto final estabilizado que pode ser usado na agricultura. (AD,2012)

Os elementos principais que compõem o biogás são: 48-65% de metano (CH_4), 36-41% de dióxido de carbono (CO_2), apresentando também quantidades reduzidas de azoto (N_2), oxigénio (O_2), amoníaco (NH_3), ácido sulfídrico (H_2S), monóxido de carbono (CO) e compostos voláteis.

O biogás produzido pode ser transformado em energia térmica (sistema de cogeração de energia), em energia elétrica ou por ultimo, poderá ser purificado e usado na rede de gás natural, ou como combustível no sector de transportes. (Murphy,2004)

A Digestão Anaeróbia obedece a cinco fases (ELSEVIER,2008):

- Hidrolise (Fermentação hidrolítica) – Primeira fase da degradação anaeróbia da matéria orgânica. Nesta fase, o material orgânico é convertido em compostos dissolvidos de menor peso molecular. Esta dissolução ocorre por meio de enzimas exógenas (lípsases, celulasas, proteases, etc.), expelidas pelas bactérias fermentativas. Desta forma, as proteínas são convertidas em aminoácidos, os carboidratos transformam-se em açúcares simples e os lípidos são convertidos em ácidos gordos e glicerina.



- Acidogénese - processo de quebra em moléculas menores contínua, ocorrendo posteriormente a formação de ácidos gordos voláteis (AGV), álcoois, ácido láctico, gás carbónico, hidrogénio, amónia, sulfeto de hidrogénio e novas células bacterianas.

Acetogénese – moléculas simples geradas na Acidogénese são oxidadas e convertidas em hidrogénio, dióxido de carbono e ácido acético.



- **Metanogénese** – As bactérias metanogénicas são responsáveis pela última fase do processo metabólico de degradação anaeróbia. Os compostos orgânicos são convertidos em biogás pelas bactérias metanogénicas. O metano é produzido pelas bactérias acetotróficas a partir da redução de ácido acético ou pelas bactérias hidrogenotróficas a partir de dióxido de carbono.

Metanogénese acetotrófica:



Metanogénese hidrogenotrófica:



- **Redução de sulfatos** – Quando existe uma grande quantidade de sulfato presente no meio, as bactérias sulforedutoras reduzem os sulfatos e outros compostos sulfurados em sulfuretos. Do ponto de vista do balanço energético de aproveitamento do biogás, é um processo indesejável, uma vez que o metano diminui e o gás sulfídrico aumenta.

Parâmetros intervenientes e de controlo da Digestão Anaeróbia: (REICHERT,2014)

Temperatura: este é um dos fatores ambientais mais importantes na digestão anaeróbia, uma vez que afeta a velocidade do metabolismo das bactérias, equilíbrio iónico e também a solubilidade dos substratos. No processo de DA os sistemas de digestão estão preparados para operar a temperaturas de cerca de 35°C, onde se desenvolvem as bactérias Mesófilicas, mas também estão preparados para operar a temperaturas de aproximadamente 55°C, onde se desenvolvem as bactérias Termófilicas. Quando o digestor opera a baixa temperatura, o tempo de retenção é mais longo (15 a 30 dias), sendo necessário a instalação de um digestor de maior dimensão. Uma digestão a elevadas temperaturas requer um digestor de menores dimensões. Apresenta um maior rendimento, atingindo uma maior produtividade de biogás em aproximadamente 14 dias. No entanto, a sua manutenção é mais elevada no inverno (maior carga energética devido à manutenção de elevadas temperaturas). (Mkelleher,2007)

pH: este parâmetro é indicativo do equilíbrio do sistema e da estabilidade do digestor. As bactérias anaeróbias metanogénicas são consideradas sensíveis às condições ácidas do reator, podendo ser inibidas. Assim sendo, um pH ótimo para as bactérias metanogénicas fica entre 6 a 8 e para as

bactérias acidogénicas varia entre 5 e 6. Para o processo de digestão anaeróbia correr normalmente o pH situa-se entre 6,5 e 7,6.

Relação Carbono Azoto (C/N) – esta relação mede a quantidade relativa de carbono orgânico e de azoto presente nos resíduos. A razão C/N ótima presente na matéria orgânica está entre 20 e 30, sendo a relação ideal igual a 25. Uma relação C/N alta dá indicação de um rápido consumo de azoto pelas bactérias metanogénicas, resultando numa baixa produção de biogás. Uma razão C/N baixa pode conduzir a uma acumulação de amónia, podendo causar subida do pH acima dos 8,5 e consequentemente uma inibição da atividade dos microrganismos metanogénicos.

Mistura: Dependendo da composição do resíduo, pode haver a adição de nutrientes, a fim de favorecer o crescimento microbiano. No entanto, existem nutrientes que em quantidades elevadas poderão inibir a actividade microbiana, como por exemplo iões de cálcio.

Taxa de carga orgânica: é a medida de capacidade de conversão biológica de um sistema de digestão anaeróbia. Uma taxa de carga orgânica elevada, resulta numa baixa produção de biogás devido a acumulação de substância inibidoras como os ácidos gordos no interior do digestor.

Um dos aspetos que influencia a estabilidade e eficiência do processo de digestão anaeróbia é o tipo de digestor a usar. Os principais parâmetros utilizados para classificar o tipo de digestor a utilizar na digestão anaeróbia são (VAND, 2003):

Fases do processo: nos biodigestores de uma única fase, todas as etapas do processo de digestão anaeróbia (hidrólise, acidificação, acetogénese, metanogénese e sulfetogénese) ocorrem num único reator. Nos biodigestores de multi-fases, as diferentes etapas do processo de DA ocorrem sequencialmente em digestores separados, ou seja, é constituída por dois digestores, onde no primeiro é realizado as etapas hidrolíticas, acidogénica, acetogénica e redução de sulfatos e no segundo digestor é otimizada a etapa metanogénica. Este processo de múltiplas fases apresenta um ganho na produtividade de biogás e um melhor desempenho do processo de digestão anaeróbia comparado com o processo de uma fase. No entanto, devido à sua complexidade apresenta custos de investimento elevados e basta uma falha num dos digestores para que o processo se destabilize.

Tipo de alimentação: a alimentação ao reator pode ser feita em sistema contínuo ou sistema descontínuo. No processo contínuo a entrada e saída da matéria é feita de forma contínua. Desta forma, o biogás é produzido de forma também contínua. Este processo apesar de garantir uma taxa estável de produção de biogás, apresentam a desvantagem da possibilidade de parte do resíduo que é removido do digestor não se encontrar completamente digerido (ADTBP,2007). Num sistema descontínuo, a matéria orgânica é introduzida no reator durante um determinado período de tempo até ao final da degradação. Assim que a digestão ficar completa, os resíduos são descarregados e o

processo volta a ser reiniciado. Estes sistemas são mais simples, de baixa tecnologia, consumo de água baixo e não ocorre o acúmulo de inertes no interior do reator, pois este é esvaziado no fim de cada processo. No entanto, este processo ocupa uma grande área superficial, apresenta baixa produtividade de biogás e há um risco de explosão durante o esvaziamento dos reatores. Poderá também ocorrer o entupimento na base do reator.

Temperatura: alguns sistemas de digestão são preparados para operar a temperaturas de aproximadamente 35°C, onde as bactérias Mesófilas se desenvolvem (Digestão Anaeróbica Mesofílica), enquanto que outros sistemas estão preparados para operar a temperaturas de 55°C, onde as bactérias Termófilas operam (Digestão Anaeróbica Termofílica). A digestão termofílica tem um rendimento mais elevado, atingindo uma maior taxa de produção de biogás em menor espaço de tempo, possibilitando digestores de menores dimensões. No entanto apresenta uma manutenção mais elevada (maior carga energética devido à manutenção de elevadas temperaturas).

Concentração de sólidos totais (ST): Os processos de digestão anaeróbia de resíduos orgânicos dividem-se em processos via seca e processos via húmida, dependendo da concentração de sólidos totais (ST) no interior do reator. Uma distinção destes dois processos indica-nos um grau de complexidade do sistema de pré-tratamento dos resíduos, a entrada adequada para o processo de digestão e qual o tipo de digestor a ser usado. Os biodigestores por via húmida atuam com teores de sólidos totais abaixo de 15%, enquanto os biodigestores via seca atuam com teores de sólidos totais superiores a 15%. Os processos por via seca apresentam algumas vantagens como por exemplo a produção de menores quantidades de efluentes líquidos, instalação de menor porte e melhor número de equipamentos de gestão do fluxo de efluentes. No entanto, não permitem uma remoção de contaminantes tão eficiente como os processos por via húmida. Os processos por via húmida potenciam a diluição de compostos inibidores. No entanto, apresentam um maior volume de reatores e poderá ocorrer a possibilidade de formação de espuma à superfície impedindo a saída do biogás. Conclui-se neste caso que as desvantagens e vantagens estão equilibradas.

Após a análise das diversas opções tecnológicas que existem ao desenvolver um processo de tratamento por digestão anaeróbia, verifica-se que existem vários processos patenteados no mercado como por exemplo processos contínuos por via seca (DRANCO na Bélgica, KOMPOGAS na Suíça, VALORGA na França, Linde-BRV na Alemanha), processos descontínuos (BIOCEL na Holanda e SEBAC na EUA).

Segundo EDS.Norte, as principais vantagens e limitações da Digestão Anaeróbia são (EDS,2014):

Vantagens:

- Baixos requisitos de terras;
- Aumento da vida útil dos aterros sanitários;
- Baixos custos de construção;
- Produção de metano, gás combustível altamente calorífico;
- Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator, durante vários meses;
- Tolerância a altas cargas orgânicas;
- Aplicação em pequena e grande escala;
- Fração orgânica dos RSU é retirada, contribuindo para uma diminuição de odores desagradáveis nos aterros e de lixiviados;
- Minimização da emissão de gases com efeito de estufa;
- Produção de produtos valorizáveis como o biogás e o composto.

Desvantagens:

- O processo de arranque pode ser lento na ausência de sementes de lamas adaptadas;
- Necessário um pós-tratamento;
- A natureza dos resíduos pode variar dependendo da localização e da estação do ano;
- Possível geração de efluentes com aspeto desagradável.

2.5.3 Vantagens e desvantagens do Tratamento Mecânico-Biológico de indiferenciados

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Tratamento adequado para grandes volumes de resíduos; • Resíduos de embalagem são encaminhados para reciclagem; • Fonte de recuperação de metais para reciclagem; • Encaminhamento dos rejeitados para CDR e valorização energética; • Diminuição da deposição dos resíduos em aterro, contribuindo para o cumprimento das metas de deposição; • Redução do lixiviado devido a uma maior densidade do composto produzido; • Aproveitamento do biogás contribuindo para a produção de eletricidade; • Criação de postos de trabalho; • Tecnologia fiável e menor risco económico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Custos operacionais elevados; • Volume significativo de resíduo estabilizado pode exigir o envio para aterro; • Poderá ocorrer odores desagradáveis no aterro caso os resíduos não fiquem totalmente estabilizados. Para além disso, poderá decorrer emissões de metano; • Poderá ocorrer um aumento de ruído derivado ao transporte e descarga de resíduos; • Emissões de efluentes líquidos provenientes do tratamento biológico e lixiviados do aterro; • Caso as medidas de prevenção e tratamento de emissões atmosféricas e líquidas não forem tomadas, este tratamento poderá provocar problemas na saúde pública.

2.5.4 Custos de investimento

Uma Unidade de Tratamento Mecânico-Biológico de resíduos é mais económica do que qualquer outro tipo de tratamento. Normalmente, os custos de investimento para tratamento de resíduos são inferiores a de uma incineradora, como por exemplo. Para além de serem inferiores, estes custos também podem ser determinados pelo próprio perito, no que toca ao nível de processamento técnico. (GTZ,2014)

Segundo o relatório realizado pela Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, os custos ligados ao TMB consistem basicamente em custos de investimento, operacionais e receitas:

Custos de capitais anuais	Aquisição e construção (estrutura)
	Compra do terreno
	Equipamentos, maquinarias e imobiliários
Custos operacionais (Invariáveis)	Seguros
	Arrendamentos
Custos operacionais (Variáveis)	Combustíveis
	Depósito em aterro
	Consumo de energia
Receitas	Resultados da venda de materiais recicláveis

A ERSUC realizou um estudo internacional sobre implementação de diversas tecnologias, onde o intervalo de valores oscila entre 13 e 140 milhões de euros:

Tabela 2 Estudo realizado pela ERSUC sobre investimentos de UTMB internacionais. (ERSUC,2016)

Unidade	País	Ano de Arranque	Capacidade	C/ton.ano	Investimento	Componentes
			ton/ano	Euros	MEuros	
La Paloma	Espanha	1982	256.000	53,9 €	13,8	TM + C
Las Dehesas	Espanha	2000	475.000	142,1 €	67,5	TM + C
Las Lomas	Espanha	1993	438.000	319,6 €	140,0	TM + C + CI
Pinto	Espanha	2004	140.000	325,0 €	45,5	TM + DA + C
Ecoparc 2	Espanha	2004	240.000	212,5 €	51,0	TM + DA + C
Ecoparc 3	Espanha	2006	200.000	220,0 €	44,0	TM + DA
Schaumburg	Alemanha	2005	100.000	260,0 €	26,0	TM + DA
Hannover	Alemanha	2005	200.000	315,0 €	63,0	TM + C
Lübeck	Alemanha	2005	150.000	200,0 €	30,0	TM + DA + AB
Berlim	Alemanha	2005	180.000	205,6 €	37,0	TM + C
Leipzig	Alemanha	2005	300.000	233,3 €	70,0	TM + C
Brecht II	Bélgica	2000	50.000	300,0 €	15,0	DA

Considere-se uma UTMB com o seguinte investimento inicial:

Tabela 3 Investimento de uma UTMB da ERSUC

TMB	Capacidade instalada	Investimento
Terreno	5 ha	15€/m ²
Infra-estrutura	360000 ton	200€/ton

Tabela 4 Custos variáveis da UTMB relativamente ao custo de tratamento de CDR da ERSUC. (ERSUC,2016)

TMB	Consumo Unitário	Custo Unitário (€)	2011 (€)
Ácido Sulfúrico (kg/Mg RO)	0,936	0,23	27.725
Água (m³/Mg RO)	0,47	0,99	60.769
Electricidade (kWh/Mg RO)	40	0,1	1.487.909
Gasóleo (l/Mg RO)	0,725	0,86	81.912
Material Estruturante (Mg/Mg RO)	0,05	35	228.981
Outros Consumos (kg/Mg RO)	1	3,74	489.364
Produção de Efluentes Líquidos (m³/Mg RO)	0,9	3,25	435.223
Transporte CDR (ton)	-	2,5	416.150
Tratamento CDR (ton)	-	15	2.496.902
Conservação e Reparação			2.814.571

A manutenção e reparação de uma instalação pertence aos custos variáveis por serem dependentes das quantidades de resíduos a utilizar.

Custos de exploração com caracter invariável são apresentados na tabela abaixo. A prestação de serviços de terceiros refere-se principalmente a seguros, trabalhos especializados, rendas, aluguer. Relativamente aos custos com o pessoal, foram considerados dois turnos com 14 colaboradores por turno. Existem também trabalhadores a exercer funções de encarregado de exploração, operacionais de manutenção e eléctrica e operadores de máquinas para movimentação de RSU. Ao todo, foi previsto um total de 51 trabalhadores.

Tabela 5 Custos invariáveis associados ao TMB da ERSUC. (ERSUC,2016)

TMB	2011
Prestações de serviços a terceiros (€)	0
Custos com o pessoal (€)	1.002.062

Quanto às receitas esperadas pelo TMB, são extraídos diversos materiais valorizáveis que posteriormente são encaminhados para reciclagem. No entanto é também uma unidade geradora de energia eléctrica, composto orgânico e CDR.

Tabela 6 Receitas associadas ao TMB da ERSUC.

TMB	2011
Produção de Eletricidade (kWh/Ton)	135
Produção de Composto RSU (kg/Ton)	250
Certificados CO2 (Ton/Ton)	1,46
Aço (kg/Ton)	10,18
Alumínio (kg/Ton)	1,84
Papel Embalagem (kg/Ton)	21,4
Papel n/ Embalagem (kg/Ton)	3,66
Plástico (kg/Ton)	16,15
CDR (kg/Ton)	375,18

3. Caso de Estudo

Toda a informação presente neste capítulo foi fornecida pelo Engenheiro Nuno Alves da empresa Painhas.

3.1 Unidade de Tratamento Mecânico-Biológico de Mirandela

De forma a contribuir para a Estratégia de Valorização Orgânica de Resíduos Urbanos Biodegradáveis, e enquadrada no compromisso nacional e comunitário de redução da matéria orgânica depositada em aterro, a Resíduos do Nordeste apresenta a nova Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico por Digestão Anaeróbia. A candidatura foi aprovada pela Comissão Diretiva no dia 28.11.2008 e confirmada pela decisão da Comissão Ministerial de Coordenação do Programa Operacional no dia 23.12.2008. A 5 de Fevereiro de 2010, realizou-se em Mirandela a Cerimónia de Assinatura do Contrato de Adjucação da “Conceção, Construção, Fornecimento e Exploração da Unidade de Valorização Orgânica de Resíduos Urbanos Biodegradáveis por Digestão Anaeróbia do Nordeste Transmontano” entre a Resíduos do Nordeste, EIM, e o consórcio constituído pelas empresas Painhas, S.A., DST – Domingos da Silva Teixeira, S.S., e OWS – Organic Waste Systems, n.v..

A infraestrutura, localizada no Aterro Sanitário de Urjais, encontra-se em fase terminal e o preço global do presente contrato é de 25.334.194,85€ (vinte e cinco milhões, trezentos e trinta e quatro mil, cento e noventa e quatro euros e oitenta e cinco cêntimos). O preço apenas da infraestrutura foi de 17.800.000€ (dezassete milhões e oitocentos mil euros).



Figura 15 Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico de Mirandela.

São 13 (treze) os municípios do Sistema Intermunicipal de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Nordeste Transmontano que procedem à Valorização dos Resíduos Sólidos Urbanos e Resíduos Urbanos Biodegradáveis: Alfândega da Fé, Carrazeda de Ansiães, Macedo de Cavaleiros, Mirandela, Vila Flor (Terra Quente Transmontana), Bragança, Miranda do Douro, Vimioso e Vinhais (Terra Fria Transmontana), Freixo de Espada à Cinta, Magadouro, Torre de Moncorvo e Vila Nova de Foz Côa (Douro Superior).



Figura 16 Municípios do Sistema Intermunicipal de Gestão de RSU no Nordeste Transmontano.
(PAINHAS,2014)

Apresenta uma área geográfica de 6.996Km², uma população de aproximadamente 157.377 habitantes, caracterizando-se por uma forte redução da população residente, baixa densidade populacional, elevada dispersão geográfica e população envelhecida.

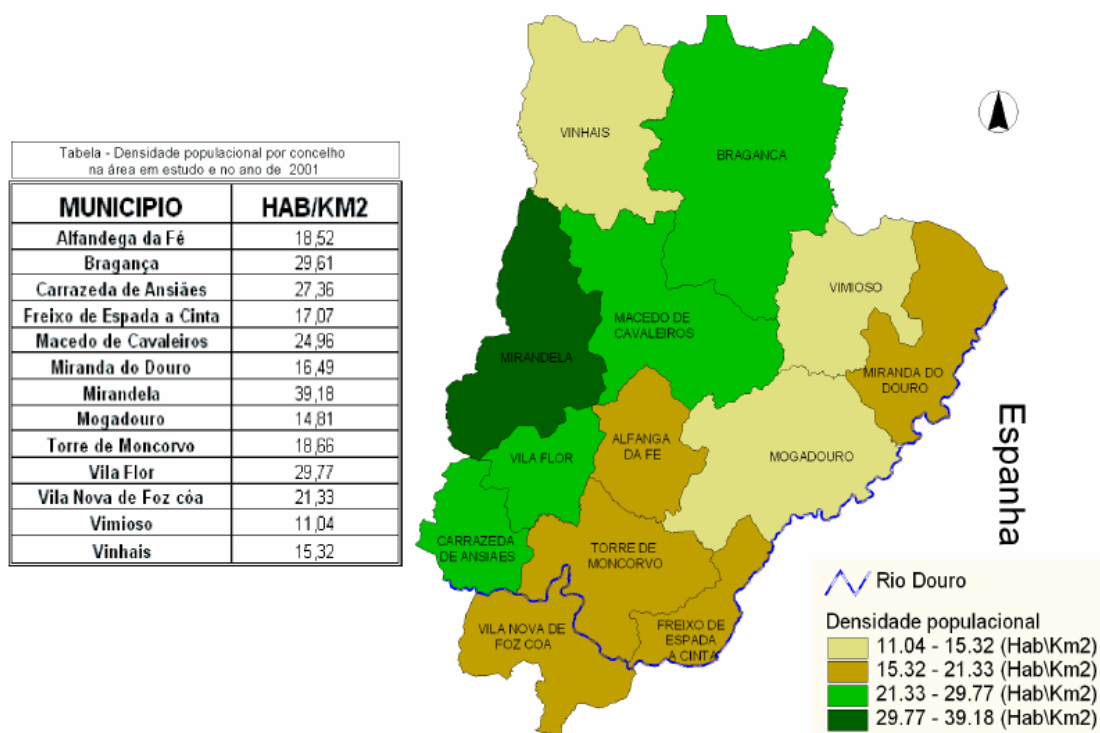


Figura 17 Densidade populacional por concelho na área em estudo no ano de 2001.

Relativamente ao Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, o sistema gera cerca de 55.000 Ton/ano (45.000 ton/ano de RSU e 10.000 ton/ano de RUB, 26,19 ton/h), representando aproximadamente 1,20% da população nacional de resíduos. Todas as informações presentes neste capítulo foram fornecidas pelo Engenheiro Nuno Alves da Residel, aquando da visita às instalações da UTMB de Mirandela.

3.2 Tratamento Mecânico

O processo levado a cabo dentro da instalação de pré-tratamento de RSU/RUB consta das seguintes áreas:

- Área de Alimentação;
- Área de Seleção Automática de Recicláveis;
- Área de Evacuação de Impróprios;
- Área de Evacuação de Rejeitados

Área de Alimentação

A linha de alimentação é composta, primeiramente, por um pavilhão onde são descarregados os Resíduos Sólidos Urbanos. Através de uma garra, os RSU são transportados para uma tremonha composta por um sistema de tapete transportador metálico. Este tapete designa-se por transportador de receção e distribuição, onde distribui e dosifica os materiais depositados na tremonha de receção (figura 15). O material dosificado é depois transportado até à triagem manual (figura 17).



Figura 18 Pavilhão onde são descarregados os Resíduos Sólidos Urbanos.



Figura 19 Tapete que transporta o material dosificado desde o transportador de alimentação até à triagem manual.

Área de pré-tratamento

Nesta área e através da disposição de pessoal, ocorre a recuperação manual dos valorizáveis e impróprios por tamanho ou configuração, que se considerem como inconvenientes para a passagem na linha de seleção automática.



Figura 20 Zona onde ocorre a triagem manual.

O tapete transportador transporta os materiais da triagem manual à alimentação do Trommel de seleção por crivagem. À entrada do Trommel existe um abre-sacos, no entanto, não foi possível recolher a sua imagem uma vez que ainda estava em construção.



Figura 21 Trommel de selecção por crivagem.

O Trommel ou Crivo Rotativo apresenta rotação e movimento sobre os produtos em circulação no seu interior favorecendo a saída pelas malhas dos crivos os materiais com granulometria inferior a 90mm, granulometria entre 90mm e 200mm e material com dimensões superiores a 200mm. Os materiais com dimensões inferiores a 90mm caem da malha do Trommel, seguem para um tapete transportador, onde passam por um Separador Magnético. Este separador magnético é constituído por um potente eletroímã. Quando os elementos ferrosos, que circulam nos resíduos espalhados pelo tapete transportador, entram no campo magnético gerado pelo eletroímã, são atraídos por este. Após a passagem pelo separador magnético, os materiais são encaminhados para um novo Trommel de crivagem, onde separa os materiais com dimensões superiores a 40mm para a Compostagem e os materiais inferiores a 40mm para a Biometanização.



Figura 22 Tapete que transporta os materiais para a Compostagem.



Figura 23 Tapete que transporta os materiais para a Biometanização.



Figura 24 . Trommel de crivagem, onde separa os materiais superiores e inferiores a 40mm.



Figura 25 Separador Magnético constituído por um eletroímã.

Os materiais com dimensões superiores a 200mm são reencaminhados para a triagem manual:



Figura 26 Triagem manual dos materiais com granulometria superior a 200mm e dos materiais planos procedentes do Separador Balístico.

Área de Seleção automática de recicláveis

Esta área apresenta instalações que consistem fundamentalmente na conceção de uma linha automática com sistemas de vanguarda que possibilitam uma melhor rentabilidade e eficácia no rendimento de materiais recuperados no processo. Este processo consiste em possibilitar um fluxo de transporte que passe pelos diversos equipamentos de separação balística, ferrosos, não ferrosos e óticos, com finalidade de dispor automaticamente dos diversos produtos separados para a sua posterior comercialização.

O Trommel apresentado na figura 21 possui uma segunda zona de crivagem para a saída dos materiais com granulometria entre 90mm e 200mm. Os materiais saem pela malha do crivo do Trommel, são descarregados para um tapete transportador e transportados para o Separador Balístico (figura 28). No entanto, o material passa antes por um Separador Magnético onde separa os elementos ferrosos do resto do material. Esses materiais ferrosos são depois levados para valorização.

O Separador Balístico é constituído por um conjunto de chapas perfuradas que estão montadas inclinadamente, paralelas umas às outras, tendo como função separar três frações: rolantes, finos e planos. Os materiais arredondados são conduzidos para a parte inferior por efeito da gravidade; os materiais planos deslocam-se para a parte superior do Separador Balístico, devido ao movimento das placas; os materiais finos caem pela malha e são encaminhados para aterro.

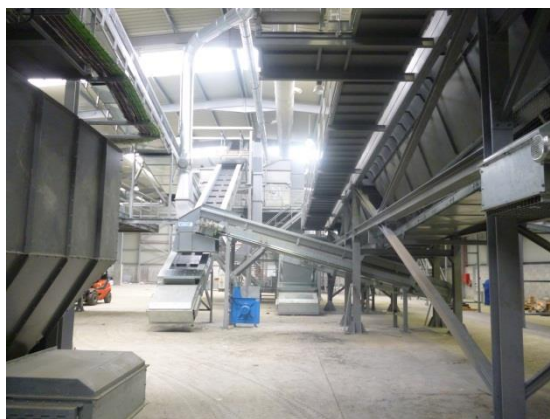


Figura 27 Tapete Transportador que transporta os materiais com dimensões entre 90mm e 200mm para o Separador Balístico.



Figura 28 Separador Balístico.

Os materiais planos que se deslocaram para a parte superior do Separador Balístico são enviados para a triagem manual. Após a triagem, os materiais passam por um Separador Magnético, onde são separados os materiais ferrosos do restante material.



Figura 29 Tapete que transporta os materiais com granulometria superior a 200mm e materiais planos procedentes do Separador Balístico para a Triagem Manual.



Figura 30 . Separador Magnético, onde separa os materiais procedentes da triagem.

Os produtos procedentes da separação dos rolantes no Separador Balístico são transportados através do tapete transportador com tela de borracha e entram num fluxo linear com desvios dos subprodutos seleccionados, até ao Separador Ótico de duas vias. Este Separador Ótico é constituído por uma válvula de ar que propulsiona ar na fração desejada, separando os materiais indesejáveis. Neste caso separa dois tipos de plásticos do rejeitado. O rejeitado segue a sua linha de fluxo sobre o Separador de Foucault, separando os elementos não ferrosos, como por exemplo o alumínio e o ECAL.

De seguida, o material é sujeito a um segundo Separador Ótico de três vias, permitindo a separação das embalagens do tipo PET e PEAD, do resto dos materiais, passando através de diversas tremonhas gravíticas para os silos de armazenamento correspondentes.

Após a separação das embalagens PET, é necessário o seu esvaziamento, pois é um dos requisitos prévios à valorização deste tipo de material. Para isso, utiliza-se um perfurador de garrafas, constituído por um sistema rotativo, que fura as garrafas permitindo a eliminação dos líquidos para outro compartimento, e garantindo simultaneamente uma redução significativa do volume do plástico.



Figura 31 Perfurador de Garrafas.



Figura 32 Silos de armazenamento.

Os materiais procedentes do esvaziamento dos silos são descarregados de forma automática sobre um transportador. Este descarrega sobre outro transportador de tela, disposto para a triagem manual de controlo de qualidade sobre os produtos a enfardar com a prensa de recicláveis, para cumprimento com a qualidade exigida pelo Ponto Verde.



Figura 33 Tapete que transporta os materiais armazenados nos silos.



Figura 34 Triagem manual dos materiais armazenados nos silos.

Em alguns tapetes transportadores existe um sistema de sopro para plástico filme, sendo seguidamente aspirados por um sistema de tubagem de aspiração instalado sobre a estrutura da plataforma para controlo de qualidade, sobre o silo. Os materiais de plástico filme são encaminhados para a triagem manual e embalados por uma prensa



Figura 35 Aspiração de Plástico Filme.

Todos os materiais ferrosos procedentes dos diversos separadores são embalados na prensa de metais, carregados pelo transportador para uma tremonha incorporada ao nível do solo



Figura 36 Tremonha ao nível do solo ainda em construção.

Área de evacuação de impróprios

Os diversos materiais separados como impróprios nas zonas de triagem manual são depositados em contentores metálicos abertos, dispostos por baixo das plataformas metálicas, sendo transportados para outras instalações de processamento e/ou reciclagem.

Área de evacuação de rejeitados

O transportador de tela de borracha, representado pela figura abaixo, disposto como coletor geral de rejeitados de toda a linha, recolhe os rejeitados planos do separador balístico e rejeitados do trommel. Após recolher os rejeitados, envia para a triagem manual de controlo de qualidade. Um separador eletromagnético de ferrosos disposto sobre o transportador possibilita a limpeza dos contaminantes ferrosos incluindo na fração de rejeitados. O transportador de tela de borracha (figura abaixo) é reversível e transporta os rejeitados da prensa para o contentor.



Figura 37 Transportador de borracha que transporta os rejeitados para o contentor.

Após a descrição de todos os processos envolvidos no Tratamento Mecânico, apresenta-se na tabela abaixo a taxa de recuperação de RSU previsto para o TM de Mirandela.

Tabela 7- Taxa de recuperação prevista de Resíduos Sólidos Urbanos no TM

Material	Quantidades recuperadas previstas (ton/ano)
Ferroso	1100
Vidro	2205
Cartão	2205
Films	2670
PET	2475
PEAD	
Plásticos MIX	515
Brick	230
Alumínio	60
Rejeitado CDR	12165
Restos CDR	275
Finos Aterro	3110
Rejeitado Aterro	440
A criba (MADEIRA)	27550
Total	55000

Balanco de massas no tratamento mecânico

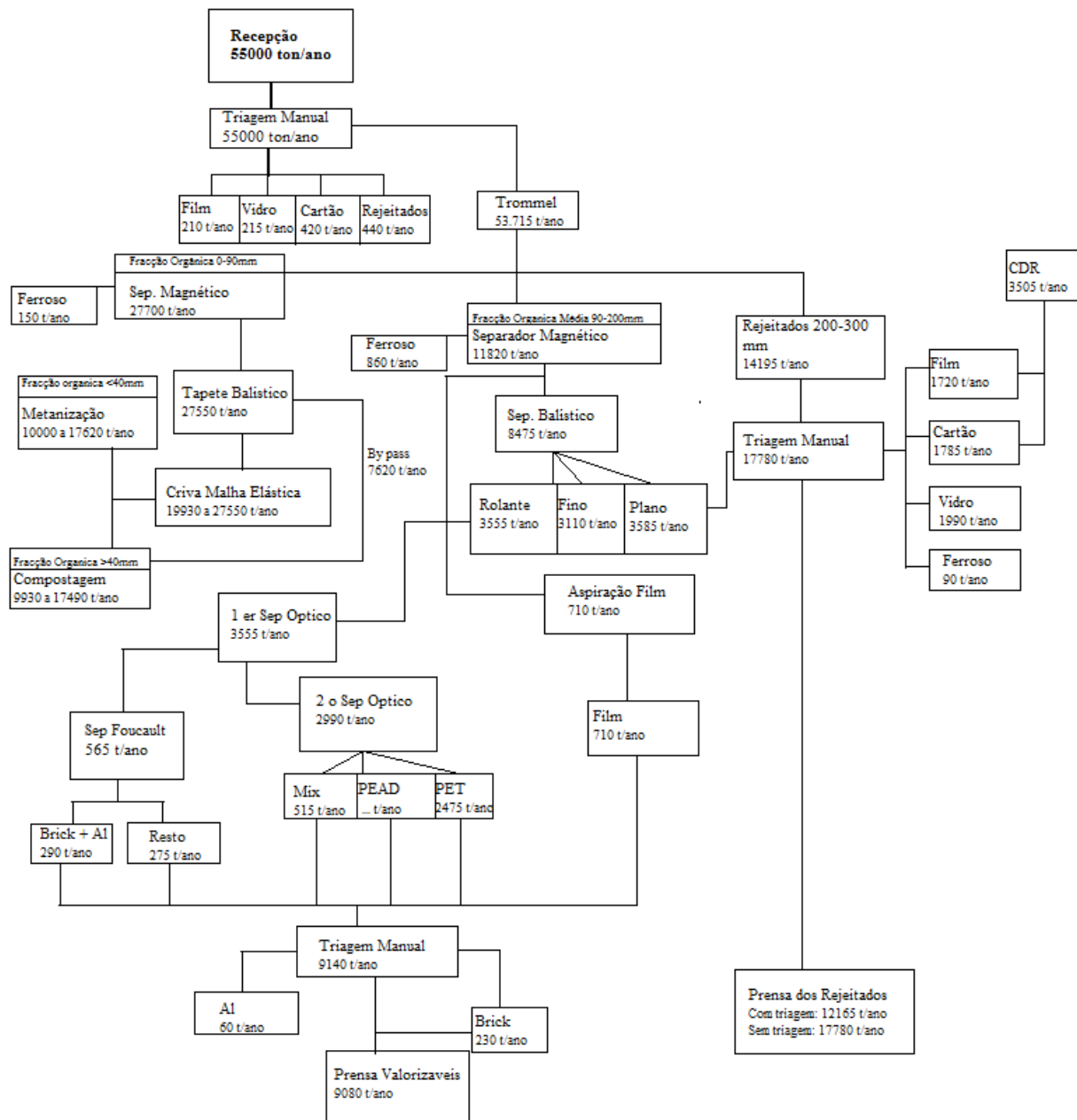


Figura 38 Balanço mássico previsto para o Tratamento Mecânico em Mirandela.

3.3 Tratamento Biológico

3.3.1 Compostagem

A tecnologia instalada em Mirandela para o processo de fermentação do material a compostar por parte da Metrocompost S.A. consiste em tuneis de compostagem com aspiração forçada (4 tuneis necessários). É um processo de compostagem aeróbio da matéria orgânica procedente da desidratação e RUB. Este tratamento desenvolver-se-á em duas fases:

- 1ª Fase – compostagem em Compotuneis;
- 2ª Fase – Maturação em Pilhas.

As entradas no sistema de compostagem por tuneis são de 8.583 ton/ano de fracção orgânica procedente de digestores ($d=0,9$) e de 15.000 ton/ano de fracção orgânica procedente de pré-tratamento de RSU ($d=0,6$). O processo total de compostagem durará um total de 6 semanas.

A figura 35 representa o tapete que transporta o material para a zona de carga dos tuneis de compostagem, onde se realiza a mistura com fracção verde. A carga é feita com uma pá carregadora e o espaço mínimo livre necessário à frente dos tuneis é de 12 metros para que seja possível a circulação da pá para a entrada e saída do túnel.

Os tuneis são recintos paralelepípedos construídos em betão com porta isolante. O tamanho pode variar entre 3 a 8 metros de largura e altura e 10 e 40 metros em comprimento. Pode-se controlar os parâmetros do processo, por meio de equipamentos de sonda, permitindo saber em todos os momentos parâmetros como:

- Temperatura dos gases de entrada;
- Temperatura dos gases de saída;
- Temperatura da matéria;
- Nível de O_2 , CO_2 e NH_3 tanto na matéria como nos gases.



Figura 39 Saída da matéria orgânica do pré-tratamento e entrada na zona de carga dos tuneis de Compostagem.



Figura 40 Tuneis de compostagem.

O tempo máximo de enchimento dos tuneis de compostagem é de 7 dias (50 semanas de trabalho/ano). Estes tuneis apresentam um sistema de ventilação forçada por aspiração com tratamento de ar biológico com passagem prévia por um humidificador. Os tuneis apresentam também um sistema de rega, constituído por bombas, válvulas motorizadas, electroválvulas, condutas, difusores e aspersores necessários á sua rega com lixiviados ou água de rede.

A ventilação é efetuada por depressão (aspiração) através de uma laje perfurada, permitindo a aspiração homogénea do ar em todo o túnel. Após a aspiração do ar, este é enviado para o tratamento, evitando assim qualquer saída de odores para o exterior. O tratamento do ar consiste na existência de um biofiltro, ou seja, um filtro natural que visa eliminar os elementos poluentes do ar. O ar dos tuneis é enviado para o biofiltro para depuração, passando previamente por um humidificador para diminuir a sua concentração de amoníaco. O biofiltro é também composto por um sistema de rega, que permite

manter a humidade adequada ao funcionamento deste. A parte inferior está ligada com a caixa de impulsão e tem também uma pendente para recolher os líquidos que possam ocorrer de forma a serem conduzidos para o sistema de tratamento de águas residuais.



Figura 41 Biofiltro.

Após a compostagem em túnel, procede-se à maturação em pilhas através de um sistema por Revolteadora, onde o produto é humidificado e remexido sempre que a temperatura se eleva significativamente por forma a arrefece-o promovendo a fermentação aeróbia. O tempo de maturação é de aproximadamente 4 meses.

O composto antes de expedido é submetido a uma afinação mecânica que permitirá remover os contaminantes e dar-lhe a granulometria adequada à sua comercialização.

Inicialmente o composto é dosificado e descarregado sobre o tapete transportador, que o encaminha até ao Trommel ou Crivo Rotativo.



Figura 42 Revolteadora.

No Trommel, os materiais com granulometria superior a 15mm são descarregados para uma tremonha, onde é armazenado em pilha no contentor. O composto com granulometria igual ou superior a 15mm é transportado até à boca de carga da Mesa Densimétrica. A Mesa Densimétrica, por meio de barras vibrantes e sistemas de sopro incorporados, faz a separação de três tipos de materiais através da sua densidade: os ligeiros (papeis e plásticos), os pesados (pedras e vidros) e o composto afinado. Os rejeitados pesados e os ligeiros do ciclone são recolhidos através do tapete transportador onde são armazenados empilhados. O composto resultante é recolhido por baixo da Mesa Densimétrica, segue para o tapete transportador, onde depois são armazenados em pilha, aguardando a sua comercialização em massa ou ensacado.



Figura 43 Zona de Afinação ainda em construção.

As figuras seguintes representam as máquinas de ensacamento ainda por estrear. A máquina de ensacamento-pesagem é composta por uma tremonha de recepção, um dosificador volumétrico, um sistema de pesagem e um sistema de enchimento de sacos.



Figura 44 Máquinas de ensacamento-pesagem.

Junto à Central de Tratamento Mecânico e Biológico localizam-se as Células de Confinamento Técnico de Apoios, mais conhecidos por aterros sanitários, de modo a receber a parte dos refugos dos processos de tratamento e valorização não passíveis de qualquer outro tipo de valorização, bem como os resíduos inertes produzidos no sistema. Aqui são compactados para reduzir o seu volume e cobertos diariamente com terra para minimizar os maus odores e a exposição a gaivotas, prevenindo também problemas de saúde pública.



Figura 45 Aterro Sanitário.

3.3.2 Biometanização

Neste processo de Biometanização, utilizou-se o processo Dranco. A tecnologia de biodigestão Dranco é uma técnica de tratamento de resíduos que degrada e estabiliza a matéria orgânica. A técnica é ideal para fluxo de resíduos que contem uma grande quantidade de matéria orgânica, como resíduos biodegradáveis (cozinha e resíduos de jardim), resíduos de cinzas, lamas desidratadas, resíduos industriais orgânicos, entre outros.

A fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos, menor do que 40mm, chega à Unidade Doseadora através do tapete transportador (figura 42). Esta Unidade Doseadora funciona como um depósito temporário entre o pré-tratamento e a biodigestão.



Figura 46 Unidade Doseadora.

A Unidade Doseadora (DU-01) conduz o material ao Parafuso Doseador (DS-01). Este, por sua vez, transporta o material para outro parafuso (TS-01) que, mais uma vez, transporta o material na direção da Bomba de Alimentação (FP-01) do biodigestor. Acima da Bomba de Alimentação, na Unidade de Mistura, os resíduos orgânicos pré-tratados são intensivamente misturados com o digerido. Esta matéria digerida funciona como inoculador para garantir o arranque rápido e eficaz da Biodigestão Anaeróbia, imediatamente após a entrada no digestor. Na Unidade de Mistura é injetado uma pequena quantidade de vapor de baixa pressão para aumentar a temperatura até 48-55°C. É doseado cloreto de ferro para reduzir o teor de enxofre no biogás, e adiciona-se água no processo para ajustar o teor de sólidos totais no biodigestor.



Figura 47 Bomba de Alimentação.

A massa homogênea quente é encaminhada para o Biodigestor (DI-01) através dos Tubos de Alimentação. Os tubos atravessam o fundo cônico do Biodigestor, conduzindo o fluxo de resíduos pré-tratados a digerir para fora numa distância de aproximadamente um metro do topo do Biodigestor. A massa de resíduos é forçada a sair dos tubos de alimentação, cai no interior do Biodigestor e começa a produzir biogás muito ativo.



Figura 48 Biodigestor.

O Biodigestor é um reator cilíndrico vertical, com fundo cônico e um topo ligeiramente cônico, construído em aço e as perdas de calor são minimizadas por uma camada espessa de isolante à sua volta. O volume total é de 735m^3 . A digestão anaeróbica realiza-se com teor de sólidos secos entre 20 a 40% e uma temperatura entre 48 a 55°C (bactéria termófilas). Não existe nenhum equipamento de

mistura no interior do digestor. Os movimentos da matéria a digerir ocorrem de cima para baixo, lentamente. O tempo médio de retenção no biodigestor é de cerca de 20 dias.

O digerido sai do Biodigestor através do fundo cônico e é recirculado na direção das bombas de alimentação, através dos parafusos extratores. Verifica-se no esquema abaixo, que o parafuso de extração (ES-01) transporta a matéria orgânica para o parafuso de extração (ES-02). Este transporta o material digerido até à Bomba de Alimentação (FP-01), e por outro lado, para a extração do parafuso (ES-03). O parafuso de extração (ES-03) transporta o material digerido até à entrada da Bomba de Extração (FP-02), que por sua vez, leva o digerido para a compostagem onde é misturado com a fração orgânica de 40 a 80mm provenientes dos resíduos pré-tratados, enquanto que o digerido que é enviado para a bomba de alimentação (FP-01) volta para o biodigestor.

Durante a digestão anaeróbica da matéria orgânica do Biodigestor, é produzido biogás constantemente. Este é recolhido no topo do digestor e flui através de diferenças de pressão para o Gasómetro. O Gasómetro é caracterizado por uma membrana dupla de armazenamento com capacidade útil de 140m³. O Gasómetro tem como função manter uma quantidade mínima de biogás para que essa seja possível voltar ao digestor em caso de baixa pressão e nivelamento dos picos de biogás. Após o armazenamento, o biogás é enviado para tratamento e valorização.



Figura 49 Gasómetro.

É de salientar que é necessário a utilização de 250m³ por ano de água potável para limpar a instalação. Relativamente ao Cloreto de Ferro, a quantidade por tonelada de resíduos que vai para o reator é de cerca de 18kg. Isso resulta num consumo anual de cerca de 180.000kg.

A produção de biogás que vai para o digestor é de cerca de 127Nm^3 por tonelada de resíduos, resultando em $1.270.000\text{Nm}^3$ de biogás por ano ou 145Nm^3 de biogás por hora. O biogás tem um teor de metano médio de cerca de 55%, resultando um poder calorífico de cerca de $5,4\text{ kWh/Nm}^3$.

No anexo I apresenta-se o esquema de todo o processo de Biometanização.

4. Análise de Dados

Após o estudo aprofundado do Tratamento Mecânico-Biológico, foram analisadas as contribuições deste tipo de tratamento para o alcance das metas de reciclagem e aterro relativamente aos resíduos urbanos até 2050. Este estudo é realizado apenas para Portugal Continental e são consideradas todas as UTMB que estão em funcionamento e as que estão em construção.

Segundo PERSU II, a produção anual de RU em Portugal para o ano de 2012 tem uma meta de 5,078 milhões de toneladas. Assumindo valores intermédios de 0,2% até 2050, e considerando cada vez mais um aumento da tendência de uma gestão de resíduos mais racional, verificou-se que a quantidade de RU processados é de apenas 1,026 milhões de toneladas.

Tabela 8 Quantidade de resíduos processados até 2050 segundo PERSU II.

Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	...	2050
Taxa de crescimento anual (%)	1,84	1,8	1,6	1,3	1	0,6	0,2	-0,1	-0,3	-0,5	-0,8	-1	...	-7,8
Quantidade de resíduos processados (10 ³ t)	4766	4851	4929	4993	5043	5073	5083	5078	5063	5038	4997	4947	...	1026

No entanto, segundo o relatório da APA realizado em 2013, a produção de RU em Portugal Continental foi, no ano 2012, de aproximadamente 4,528 milhões de toneladas. Estes valores representam uma diminuição de 7,4% em relação a 2011. Este decréscimo poderá estar relacionado com a recessão económica que Portugal atravessa, com consequentes alterações nos padrões de consumo, e por conseguinte na produção de resíduos. Uma gestão cada vez mais racional onde privilegiam a prevenção contribui também para inverter a tendência de crescimento de resíduos produzidos. (APA,2013)

Cálculo da quantidade de resíduos sólidos urbanos processados:

$$RSU_{processados} = \frac{Quantidade_{ano-1} \times Taxa\ de\ Crescimento_{ano}}{100} + Quantidade_{ano-1} \quad (5)$$

Os principais indicadores para o estudo do alcance das metas de reciclagem são o cálculo das quantidades de resíduos sólidos urbanos que são encaminhados para a reciclagem e qual a

recuperação desses resíduos nas UTMB. Na tabela abaixo encontram-se a caracterização física dos RU em Portugal Continental, segundo APA. (APA, 2012)

Tabela 9 Caracterização média dos RSU no indiferenciado.

Resíduos putrescíveis	41,8%
Papel/Cartão	11,6%
Plástico	10,4%
Vidro	4,9%
Metais	1,7%
Madeira	0,8%
Compósitos	3,0%
Têxteis	4,1%
Têxteis Sanitários	5,3%
Resíduos Verdes (R.selectivos)	1,0%
Resíduos Volumosos	1,1%
Finos <20mm	11,5%
Resíduos Perigosos	0,6%
Outros Resíduos	2,2%

Quantidade de resíduos sólidos urbanos à entrada das UTMB:

$$RSU\ entrada = \frac{RSU\ no\ indiferenciado\ nas\ UTMB}{\% \text{ resíduos putrescíveis}} \quad (t/ano) \quad \dots\dots\dots(6)$$

Os dados de apoio ao cálculo dos RSU à entrada das UTMB em Portugal Continental estão no anexo II. Segundo a figura abaixo, verifica-se uma tendência de decrescimento de produção de RSU ao longo dos anos.

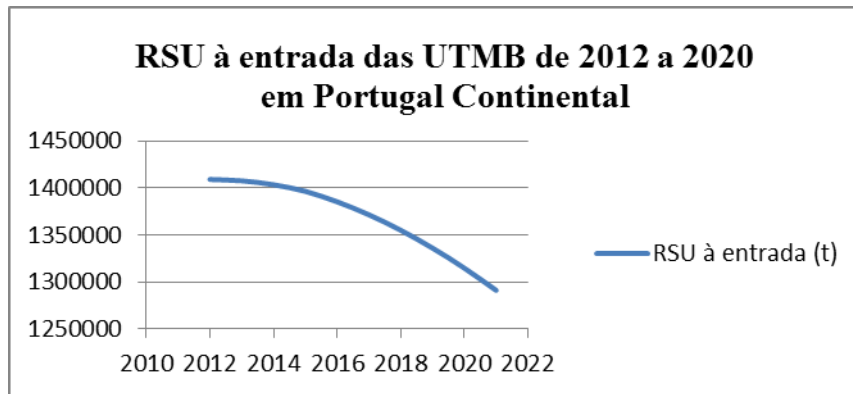


Figura 50 Quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos à entradas das Unidades de Tratamento Mecânico-Biológicas entre 2012 e 2020 em Portugal Continental.

Ao multiplicar a percentagem de resíduos de embalagem pela quantidade de resíduos nas UTMB sabe-se qual a quantidade de resíduos de embalagem presente nos Resíduos Sólidos Urbanos:

$$RE \text{ nos } RSU_{material} = \text{resíduos nas UTMB} \times \% \text{ de presença de RE} \quad (\text{t/ano})$$

Após a determinação da quantidade de RE presente nos RSU das UTMB de resíduos indiferenciáveis e através dos dados fornecidos pelo Engenheiro Nuno Alves sobre taxas de recuperação de resíduos para reciclagem do ano de 2012 em Portugal Continental, a quantidade total de RE para reciclar foi de aproximadamente 16851,9 toneladas.

Para as projeções a partir de 2012 até 2020, considera-se que as taxas de recuperação de RE são idênticas até 2020. Os valores resultantes encontram-se na tabela seguinte:

Tabela 10 Quantidade de Resíduos de Embalagem para reciclagem nas Unidade de Tratamento Mecânico-Biológicas.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Papel/Cartão	171516,5	171345,0	170831,0	169976,8	168617,0	166930,8	164927,7	162618,7	160016,8
Plástico	143208,0	143064,8	142635,6	141922,4	140787,0	139379,1	137706,6	135778,7	133606,2
Vidro	71475,9	71404,4	71190,2	70834,3	70267,6	69564,9	68730,1	67767,9	66683,6
Metais	24465,8	24441,3	24368,0	24246,1	24052,2	23811,6	23525,9	23196,5	22825,4
Madeira	10631,7	10621,1	10589,2	10536,3	10452,0	10347,5	10223,3	10080,2	9918,9
Total	421297,9	420876,6	419614,0	417515,9	414175,8	410034,0	405113,6	399442,0	393050,9
Taxa de recuperação de recicláveis	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Quantidade de RE para reciclagem nas UTMB (Ton)	16851,9	16835,1	16784,6	16700,6	16567,0	16401,4	16204,5	15977,7	15722,0

No entanto, segundo dados da APA, cerca de 14,471 t de recicláveis foram recuperados das UTMB para o ano de 2012. Esta diferença de valores estará relacionada com a taxa de recuperação de reciclagem, uma vez que não está exatamente correta devida à falta de informação. (MAOTE,2014)

Meta de desvio de RSU dos aterros

Segundo o Decreto-Lei nº 183/2009, 10 de Agosto, até Julho de 2013 “os resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro devem ser reduzidos para 50% da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995 e até Julho de 2020 os resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro devem ser reduzidos para 35% da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995.” (Dec.Lei183,2009).

Segundo o Relatório Anual realizado pela APA, a deposição dos RUB em aterro tem vindo a diminuir ao longo dos anos: (APA,2013)

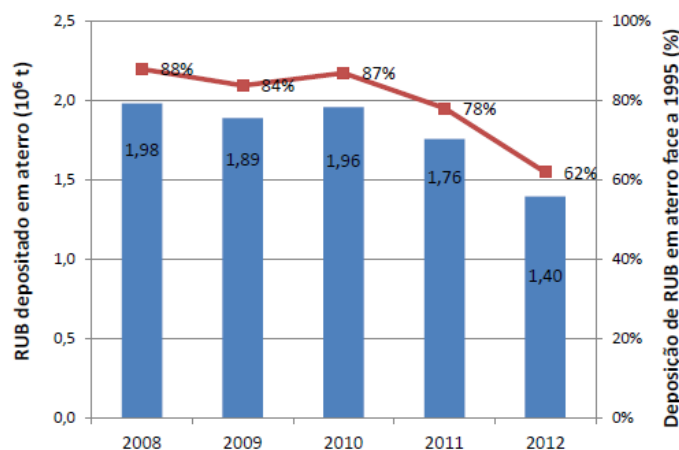


Figura 51 Evolução dos quantitativos dos RUB depositados em aterro.

Existe uma evolução positiva desde o ano de 2010 para o ano de 2012. No entanto, caso a meta fosse até 2012, esta não seria atingida uma vez que apresenta uma percentagem de RUB depositados em aterro de 62%. A partir de 2012, devido à dificuldade de previsão, e segundo o PERSU II, admite-se um aumento constante de 5%. Na figura 50, em 2020 a percentagem de RUB depositados em aterro seria de aproximadamente 41%, não atingindo a meta, uma vez que para 2020 a meta é de 35%. Em 2050 a deposição de RSU em aterro seria, aproximadamente, 9%.

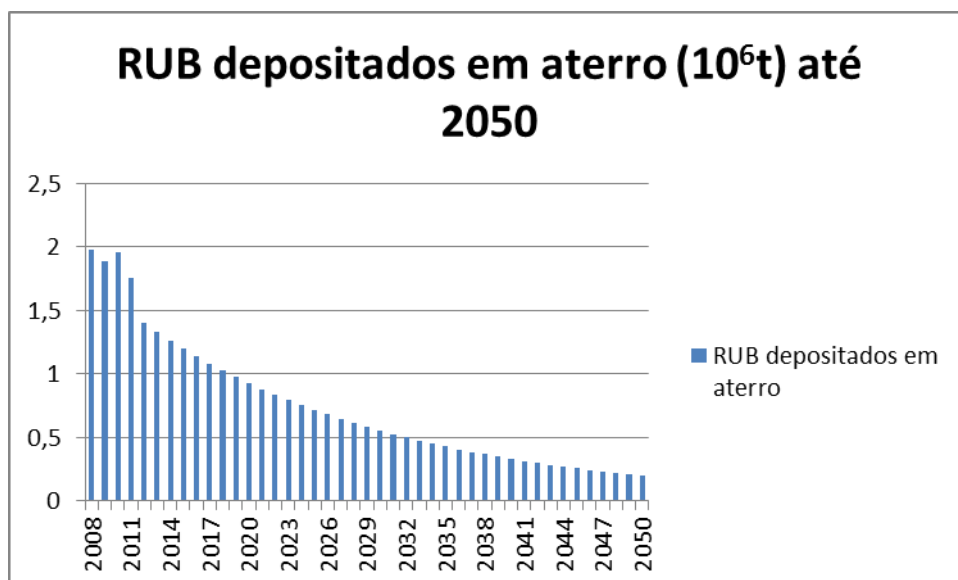


Figura 52 Estimativa de RUB depositados em aterro até 2050 segundo o Relatório Anual de Resíduos Urbanos realizado pela APA.

Meta de reciclagem de resíduos urbanos para 2050

Segundo o Decreto-Lei nº73/2011, de 17 de Junho, são introduzidos novos objectivos para a reciclagem. “Aumento mínimo global de 50% em peso relativamente à preparação para a reutilização e a reciclagem de resíduos urbanos, incluindo o papel, cartão, plástico, vidro, metal, madeira e resíduos urbanos biodegradáveis.”. (Dec.Lei ,2011)

Segundo a diretiva nº2008/98/CE a preparação para a reutilização consiste em “operações de valorização para controlo, limpeza ou reparação, mediante as quais os produtos ou os componentes de produtos que se tenham tornado resíduos são preparados para serem reutilizados, sem qualquer outro tipo de pré-processamento.” Já a reciclagem consiste numa operação de valorização, onde os materiais constituintes dos resíduos são novamente transformados em produtos, materiais ou substancias. Este processo inclui apenas o reprocessamento de resíduos biodegradáveis. (Persu,2020)

A figura seguinte representa o gráfico apresentado pela APA, onde se verifica um ligeiro aumento de preparação para reciclagem até 2012.

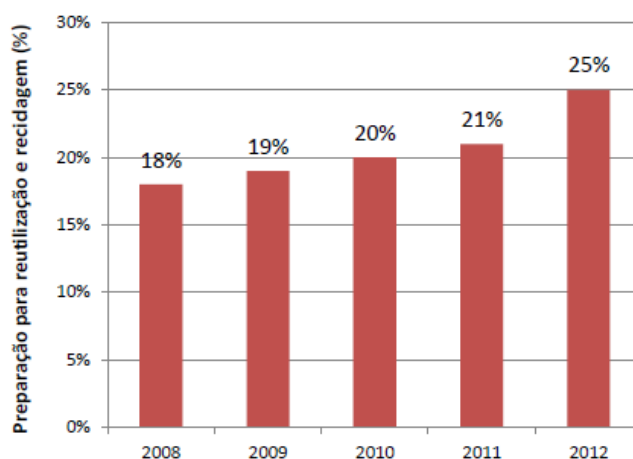


Figura 53 Evolução do resultado da preparação para reutilização e reciclagem até 2012.

Apesar de existir um aumento entre 2008 e 2012, a percentagem para 2012 é bastante baixa para atingir a meta de 50% em 2020. Se considerar este aumento constante ao longo dos anos verifica-se

que em 2050 a percentagem de preparação utilização e reciclagem é de aproximadamente 42,5%. Isto exige um enorme aumento da preparação para a reutilização e reciclagem de resíduos urbanos. No entanto não basta aumentar a reciclagem material, mas também aumentar a capacidade de valorização orgânica.

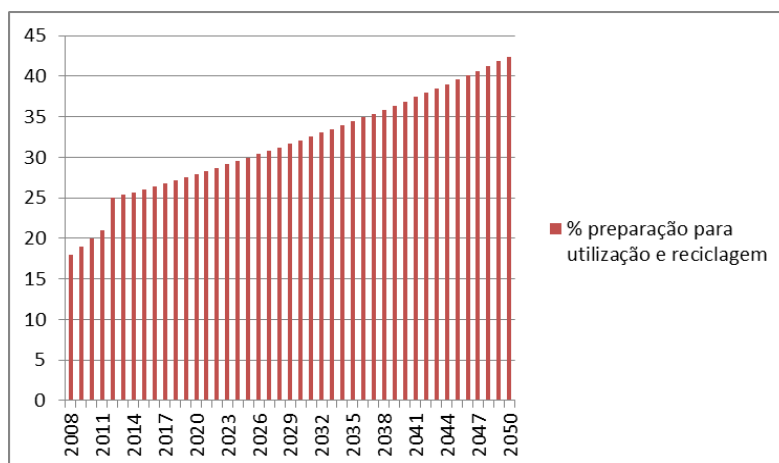


Figura 54 Evolução da preparação para reutilização e reciclagem até 2050.

5. Considerações Finais

A implementação do PERSU II teve um balanço global claramente positivo no sector dos RSU. Para além da erradicação total das lixeiras, tornou-se possível a implementação de outros tipos de tratamentos num curto espaço de tempo. No entanto, segundo os dados calculados no capítulo anterior, não é suficiente para atingir as metas impostas.

É necessário seguir uma estratégia de adoção de sistemas integrados, onde se prescrevem soluções para os resíduos de acordo com as suas características. Reciclagem, compostagem, incineração, aterros energéticos e de rejeitados podem fazer parte dessas soluções.

Essa estratégia está a ser traçada no novo plano PERSU 2020 atualmente em fase de finalização.

Este novo plano retracta o desempenho do PERSU II, identificando as metas que não foram atingidas e quais as suas causas. Inclui mínimos de eficiência e medidas para eliminação de deposição em aterro, aumento da recolha seletiva e reciclagem. Este plano é uma nova referência da política de resíduos em Portugal.

Esta nova abordagem promove uma “gestão de resíduos integrados no ciclo de vida dos produtos, centrada numa economia tendencialmente circular e que garanta uma maior eficiência na utilização dos recursos naturais”.

5.1 Objetivos/Metas previstas

Foram estabelecidos para o Plano oito objetivos que fundamentam o estabelecimento das metas e medidas para os RU:

OBJETIVOS DO PERSU 2020
<ul style="list-style-type: none">• Prevenção da produção e perigosidade dos RU• Aumento da preparação para reutilização, da reciclagem e da qualidade dos recicláveis• Redução da deposição de RU em aterro• Valorização económica e escoamento dos recicláveis e subprodutos do tratamento dos RU• Reforço dos instrumentos económico-financeiros• Incremento da eficácia e capacidade institucional e operacional do setor• Reforço da investigação, do desenvolvimento tecnológico, da inovação e da internacionalização do setor• Aumento do contributo do setor para outras estratégias e planos nacionais

Prevenção da produção e perigosidade dos RU:

Aumentar a prevenção da produção de resíduos urbanos, adotando medidas antes que o material se transforme em resíduos, definindo metas de prevenção:

- Até 31 de Dezembro de 2016: Redução mínima da produção de resíduos por habitante de 7,6% em relação a 2012;
- Até 31 de Dezembro de 2020: Redução mínima da produção de resíduos por habitante de 10% em relação a 2012.

É necessário promover a prevenção junto da indústria e do comércio, estimulando a oferta de produtos geradores de RU não incorporando substâncias perigosas ou mesmo promover a redução de sacos de plásticos leves adotando outras recomendações são alguma das medidas tomadas pelo PERSU 2020. É importante também promover a prevenção junto ao consumidor através de ações de sensibilizações sobre a perigosidade dos resíduos e também promover a compostagem doméstica, por exemplo.

Aumento da preparação para reutilização, reciclagem e da qualidade dos recicláveis:

Aumentar a preparação para a reutilização, reciclagem e qualidade dos recicláveis através do aumento e eficácia da separação dos materiais tanto seletivos como indiferenciados:

- Até 31 de Dezembro de 2020: Aumento mínimo para 50% em peso relativamente à preparação para a reutilização e reciclagem de resíduos urbanos, incluindo o papel, cartão, plástico, vidro, metal, madeira e resíduos urbanos biodegradáveis.

É muito importante otimizar e alargar as redes de recolha seletiva, promover o aumento da qualidade e quantidade da recolha de óleos alimentares usados, incentivar o TM e TMB, aumentando assim a quantidade de materiais retomados e valorizados. Relativamente ao aumento da quantidade e qualidade da recolha seletiva de RUB é necessário aumentar as redes de recolha seletiva de RUB no comércio e serviços.

Redução da deposição de RU em aterro:

A deposição de RUB em aterro continua a ser uma fonte de impactos ambientais. Nesse sentido, a meta proposta pelo PERSU 2020 foi:

- Até Julho de 2021, os RUB destinados a aterro devem ser reduzidos para 35% da quantidade total dos RUB produzidos em 1995.

Algumas medidas para conseguir atingir os objetivos passam pela otimização dos investimentos em infraestruturas através da partilha entre sistemas de gestão de RU de menor escala, aumento da capacidade das UTMB, agravar custos de deposição em aterro e desenvolvimento de campanhas específicas para desviar produtos reutilizáveis e recicláveis dos resíduos indiferenciados.

Valorização económica e escoamento dos materiais recicláveis e subprodutos do tratamento de RU:

Os materiais recicláveis e subprodutos do tratamento de RU representam os fluxos de saída da unidade de triagem, TM e TMB. É importante garantir o escoamento destes materiais e promover a valorização económica, pois contribui para uma sustentabilidade económica dos sistemas de gestão.

Os últimos quatro objetivos não estão diretamente relacionados com as metas a atingir, mas criam condições para o seu cumprimento, sendo enquadrados numa perspetiva nacional de desenvolvimento sustentável.

5.2 Valores de investimento segundo PERSU 2020:

PERSU 2020	Valor Estimado (M€)
Aumento das retomas de recicláveis por Recolha Seletiva	120
Aumento da eficiência e da produtividade das instalações existentes	50
Conversão de instalações existentes: Adaptação de TM em TMB e novas infraestruturas de preparação para reutilização e reciclagem de resíduos urbanos, incluindo valorização orgânica	90
Outras medidas (I&D, projetos piloto, etc)	60

6. Conclusão

Como resultado do presente trabalho, foi obtido um maior conhecimento dos processos envolvidos numa UTMB a nível nacional. No âmbito do PERSU II, este tratamento tem sido uma das principais opções no que diz respeito aos resíduos urbanos.

Com a informação recolhida conclui-se que uma UMTB para atingir taxas elevadas de reciclagem e evitar a deposição em aterro, tem que ser dotada com as instalações e os equipamentos necessários para atingir os seus objetivos. Quanto mais completa for uma UTMB, mais eficiente ela se torna.

As tecnologias mais recentes permitem recuperar os resíduos de embalagem dos diversos tipos de materiais, seguindo para reciclagem. Este processo combina com compostagem, onde se forma composto através da matéria orgânica, e Biometanização, onde há a produção de biogás para produção de energia elétrica e valorização energética.

A gestão adequada dos RSU é um dos principais desafios na atualidade, apesar de haver uma diminuição na produção de RU, devido à grande crise económica que o nosso país se encontra. Para o alcance dos objetivos nacionais, é necessário um esforço acrescidos entre todos os parceiros. Os sistemas integrados de gestão continuam a ser um ponto-chave do problema dos resíduos. Devem manter uma solução simples, uma solução localmente, integrar a solução com o desenvolvimento da comunidade local e ter a certeza que é uma solução sustentável. O resultado final deste trabalho assenta para o facto de ser necessário tomar mais medidas no que se refere à recuperação de resíduos para reciclagem. Em 2012 os resíduos de embalagem encaminhados para reciclagem foram apenas 16851,9 toneladas. As contribuições das UTMB são muito importantes, no entanto não são suficientes para conseguir atingir a meta prevista pelo PERSU II.

Segundo o relatório da APA, conclui-se que a meta de desvio de RSU dos aterros não foi atingida, apesar de já existir uma grande evolução positiva. Se esse aumento se mantiver constante, em 2050 a deposição em aterro seria mínima. No entanto, o aterro ainda é o destino preferencial para deposição de resíduos. As metas previstas para a reciclagem também estão muito longe de ser atingidas.

Relativamente ao futuro o novo plano PERSU 2020 aponta para uma nova visão, novos objetivos e novas metas a alcançar no período de 2014 a 2020.

O Programa de Prevenção de Resíduos Urbanos procura contribuir para a redução da produção de resíduos urbanos e minimização dos impactos negativos na sua gestão. Está previsto no novo plano a criação de modelos de gestão de RSU mais eficientes, onde a participação da população seja mais ativa, contribuindo para mudanças nas atitudes e no desenvolvimento de hábitos diários. É necessário a implementação de soluções para a substituição dos aterros restantes, soluções com custos mais

reduzidos no que toca ao SMAUT e melhoramento tanto no processo de compostagem como na Digestão Anaeróbia de forma a que as soluções tenham melhor relação custo/benefício e menor impacto ambiental.

O uso da incineração como complemento do TMB é uma das soluções previstas. A forma mais adequada para o tratamento de resíduos seria primeiro a remoção de recicláveis através da triagem, a quantidade que sobra de resíduos iriam ser reencaminhados para compostagem e/ou Biometanização e os restantes seriam convertidos em CDR e depois eliminados por incineração. O rejeitado seria enviado para o aterro. As centrais de incineração atuais, que atualmente tratam o lixo, serão aproveitadas para o uso dos CDR, não havendo necessidade de aumento da capacidade instalada em Portugal. Por outro lado não existem perspectivas concretas quanto á implementação de tecnologias emergentes tais como a gasificação e a pirólise. Todos os sistemas de gestão deverão cumprir os seus objetivos, recuperação e valorização máxima, diminuição da deposição em aterros e dos impactos ambientais, de acordo com o novo PLANO PERSU 2020.

6.1 Orientação para estudos futuros

Após a conclusão deste estudo, algumas questões ficaram por ser estudadas em profundidade.

O estudo realizado sobre resíduos sólidos urbanos é bastante abrangente, sendo importante aprofundar estudos relacionados com o tema mas direcionados para outras vertentes.

Seria interessante uma análise do potencial da gaseificação ou da pirólise para a gestão de resíduos sólidos urbanos pois são temas não muito discutidos no Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos.

Este estudo poderá ainda suscitar outros tipos de interesses como por exemplo estudar o que fazer para obtenção de um composto com mais qualidade, ou mesmo um estudo de Digestão Anaeróbia para aproveitamento de Biogás e posterior produção de eletricidade.

7. Bibliografia

AD (2012). Anaerobic Digestion technologies for the treatment of Municipal Solid Waste. Int. J. Environment and Waste Management, Vol. 9, Nos ½, 2012.

ADTBP (2007). Anaerobic Digestion Technology for Biomass Projects. Report produced by Juniper Consultancy Services Ltd for Renewables East, 2007.

APA (2012). Caracterização física dos RU em Portugal Continental. Agência Portuguesa do Ambiente, 2012.
<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=933&sub3ref=936>

APA (2013). Relatório do Estado do Ambiente. Agência Portuguesa do Ambiente. 2013
http://www.apambiente.pt/_zdata/Divulgacao/Publicacoes/REA/REA_2013_Final_6fev2014.pdf

APA (2014). Associação Portuguesa do Ambiente.
<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=5&subref=634>

BRIEFING (2008). Mechanical and Biological Treatment (MBT). Friends of the Earth, September 2008.

CCDR (2014). Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional.
<http://www.dre.pt/pdf1s/2003/05/119A00/32223229.pdf>

COMP (2014). Anónimo. The Science of Composting
<http://cwmi.css.cornell.edu/chapter1.pdf>

COMP (2000). J.I. Boulter, G.J. Boland and J.T. Trevors, Compost: A study of the development process and end-product potencial for suppression of turfgrass disease. World Journal of Microbiology & Biotechnology 16: 115-134, 2000.

COMP (2007). Batista, Joao. Compostagem- Utilização de Compostos em Horticultura. Universidade dos Açores. 2007. 252 pp

Dec.Lei (1997). Definição Embalagem, Decreto-Lei nº366-A/97, de 20 de Dezembro.
<http://dre.pt/pdf1s/1997/12/293A03/04980503.pdf>

Dec.Lei (2002). Classificação dos resíduos.

<http://www.ces.uc.pt/aigaion/attachments/IDL1522002.pdf-83204df4d2fddcefad23a42d666f6e34.pdf>

Dec.Lei (2006). Definição Resíduo, 3º artigo.

<http://dre.pt/pdf1s/2006/09/17100/65266545.pdf>

Dec.Lei (2011). Resíduos

http://www.apambiente.pt/_zdata/Politicar/Residuos/DL_73_2011_DQR.pdf

Dec.Lei (2009). Decreto-Lei nº277/2009 de 2 de Outubro. Entidade reguladora da gestão de resíduos urbanos.

Dec.Lei183 (2009). Decreto-Lei nº183/2009 de 10 de Agosto, Artigo 8. Resíduos Urbanos Biodegradáveis destinados a aterro.

<http://dre.pt/pdf1s/2009/08/15300/0517005198.pdf>

Directiva (1985). Directiva do Conselho de 27 de Junho de 1985 relativa às embalagens para líquidos alimentares, versão 2.

<http://siddamb.apambiente.pt/publico/documentoPublico.asp?documento=1861&versao=2&searcher=Directiva%7CConselho%7C85/339/CEE%7C27/06/1985¬a=0&prefix=&qstring=Directiva%20do%20Conselho%20n%BA%2085/339/CEE%20de%2027/06/1985%20nacional%3As%20comunitaria%3As%20internacional%3As%20jurisprudencia%3As%20doutrina%3As%20outro%3As%20legislacao%3As>

Directiva (1999). Directiva 1999/31/CE do Conselho de 26 de Abril de 1999 relativa à deposição de resíduos em aterros.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:182:0001:0019:PT:PDF>

Directiva (2008). Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Novembro de 2008 relativa aos resíduos.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:pt:PDF>

DRAP (2014). Compostagem – Sessão prática. Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte.

http://www.drapn.min-agricultura.pt/drapn/conteudos/fil_bio/estudoscasocompostagem.pdf

EDS (2014). Valorização de Resíduos Orgânicos. Energia e Desenvolvimento Sustentável na Região Norte.

ELSEVIER (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. Progress in Energy and Combustion Science 34 (2008) 755-781.

Eluato (2009). Definição de Eluato

<http://dre.pt/pdf1s/2009/08/15300/0517005198.pdf>

ERSUC (2006). Projeto de tratamento, valorização e destino final dos residuos solidos urbanos da ERSUC.

<http://ersuc.pt/www/dados/documentacao/Projecto%20de%20tratamento.pdf>

Eurostat (2013). Environment in the EU27, 4 Março 2013

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/8-04032013-BP/EN/8-04032013-BP-EN.PDF

GTZ (2014). Projeto Sectorial. Promoção do tratamento mecânico-biológico de resíduos. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.

<http://www2.gtz.de/dokumente/bib/04-5733.pdf>

MAOTE (2014). Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia.

http://www.apambiente.pt/_zdata/DESTAQUES/2013/Apresentacao_17_10_2013_vFinal.pdf

MBT (2005). Mechanical-Biological-Treatment: A Guide for Decision Markers Processes, Policies and Markets. Juniper Consultancy Services Ltd, March 2005, Version 1.1.

http://www.cti2000.it/Bionett/BioG-2005-003%20MBT_Summary_Report_Final.pdf

Mkelleher (2007). Kelleher, Maria. Anaerobic Digestion Outlook For MSW Streams. 2007

<http://www.biocycle.net/2007/08/22/anaerobic-digestion-outlook-for-msw-streams/>

MOR (2014). Mercado Organizado de Resíduos.

<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=670>

Murphy (2004). Technical/economic/environmental analysis of biogás utilisation. J.D Murphy, E. McKeogh, G. Kiely. Applied Energy 77 (2004) 407-427.

PAINHAS (2014). Informação cedida pelo Engenheiro Nuno Alves durante a visita à Unidade de Tratamento Mecânico-Biológica.

PERSU II (2007). Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016.
<http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/PERSU.pdf>

Persu(2020). Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2020.

PROC (2009). Issues Concerning Composting of Organic Residues. Arch. Zootechnology 58: 59-85, 2009.

REICHERT (2014). III – 242- Aplicação da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos: uma revisão. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

SC APA (2014). Sistema de Consignação.
<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=197>

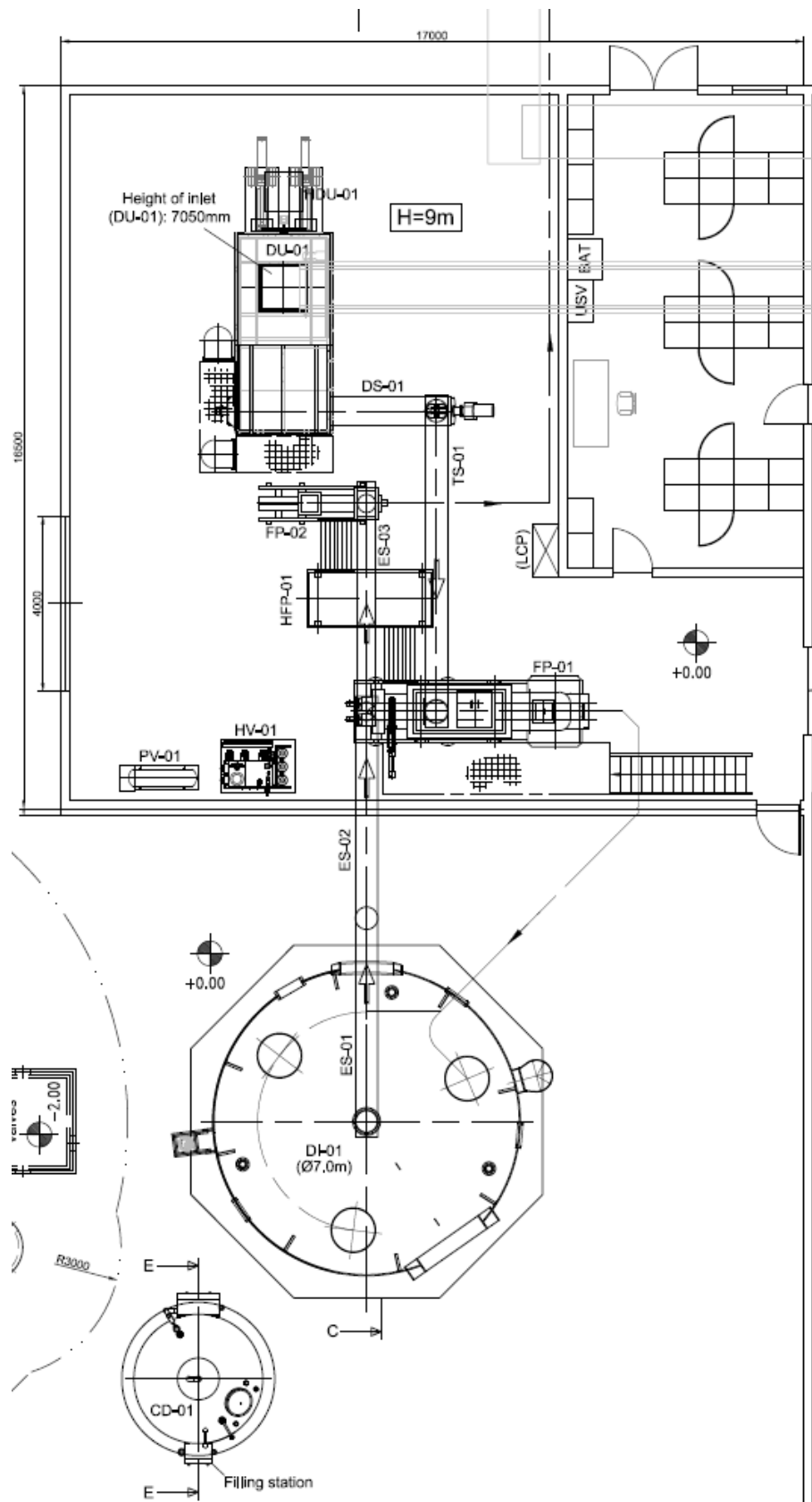
SGRU (2014). Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos
<http://naturlink.sapo.pt/Natureza-e-Ambiente/Gestao-Ambiental/content/Sistemas-de-gestao-de-residuos-urbanos?bl=1>

SITA (1997). Composting of Mechanically Segregated Fraction of Municipal Solid Waste.
<http://www.compostinfo.info/content/SET%20Critical%20Review%20MSW%20Composting.pdf>

SPV (1996-2014). Sociedade Ponto Verde
http://www.pontoverde.pt/como_funciona.php

VAND (2003). Types of anaerobic digester for solid wastes. P. Vandevivere, L. De Baere and W. Verstraete. 2003 111-137.

Anexo I: Esquema do Processo de Biometanização.



Anexo II: Cálculos de apoio aos resultados do estudo.

Tabela 11 Caracterização das Unidades de Tratamento Mecânico-Biológicas em Portugal Continental.

Sistema	Produção RU (t)	RU - indiferenciados (t)	RUB recolha selectiva (t)	Sistema	% RSU TMB	no	RSU TMB	no
VALORMINHO	35330	32603	2728	VALORMINHO		0		0
RESULIMA	128097	115097	13000	RESULIMA		0		0
BRAVAL	112636	97978	14658	BRAVAL		0		0
RESINORTE	348295	311512	36782	RESINORTE		16	49841,92	
Lipor	476216	370884	105332	Lipor		0		0
Ambisousa	126534	118644	7890	Ambisousa		0		0
SULDOURO	186958	171264	15694	SULDOURO		13	22264,32	
Resíduos do Nordeste	57802	52249	5553	Resíduos do Nordeste		0		0
VALORLIS	114692	97907	16784	VALORLIS		17	16644,19	
ERSUC	389021	353859	35162	ERSUC		31	109696,29	
Planalto Beirão	122414	113.855	8559	Planalto Beirão		20	22771	
RESIESTRELA	71996	67268	4728	RESIESTRELA		80	53814,4	
VALORSUL	758412	658832	99580	VALORSUL		2	13176,64	
Ecoleziria	58944	56236	2708	Ecoleziria		0		0
Resitejo	93764	82961	10804	Resitejo		0		0
Tratolixo	386950	273666	113284	Tratolixo		55	150516,3	
AMARSUL	402882	376379	26502	AMARSUL		11	41401,69	
VALNOR	116351	97856	18495	VALNOR		74	72413,44	
GESAMB	77427	69387	8041	GESAMB		0		0
AMBILITAL	62205	57557	4648	AMBILITAL		13	7482,41	
AMCAL	14107	12765	1342	AMCAL		0		0
RESIALENTEJO	46050	41093	4957	RESIALENTEJO		0		0
ALGAR	338095	258494	79601	ALGAR		0		0
Total	4525178	3888346	636832	Total				560022,6

Tabela 12 Quantidade RE nas UTMB de resíduos indiferenciados.

Características físicas	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Resíduos Putrescíveis	560022,6	559462,5774	557784,1897	554995,2687	550555,3066	545049,7535	538509,1565	530970,0283	522474,5078
Papel/Cartão	171516,5282	171345,0117	170830,9767	169976,8218	168617,0072	166930,8371	164927,6671	162618,6797	160016,7809
Plástico	143207,975	143064,767	142635,5727	141922,3949	140787,0157	139379,1456	137706,5958	135778,7035	133606,2442
Vidro	71475,89451	71404,41862	71190,20536	70834,25433	70267,5803	69564,9045	68730,12564	67767,90388	66683,61742
Metais	24465,76317	24441,29741	24367,97352	24246,13365	24052,16458	23811,64294	23525,90322	23196,54058	22825,39593
Madeira	10631,71908	10621,08736	10589,22409	10536,27797	10451,98775	10347,46787	10223,29826	10080,17208	9918,88933
Compósitos	44063,99231	44019,92832	43887,86854	43668,42919	43319,08176	42885,89094	42371,26025	41778,06261	41109,61361
Têxteis	44576,36432	44531,78795	44398,19259	44176,20163	43822,79201	43384,56409	42863,94932	42263,85403	41587,63237
Têxteis Sanitários	78136,73056	78058,59383	77824,41805	77435,29596	76815,81359	76047,65545	75135,08359	74083,19242	72897,86134
Resíduos Verdes (R.selectivos)	22031,99616	22009,96416	21943,93427	21834,2146	21659,54088	21442,94547	21185,63013	20889,0313	20554,8068
Resíduos Volumosos	21775,81016	21754,03435	21688,77224	21580,32838	21407,68575	21193,6089	20939,28559	20646,13559	20315,79742
Finos <20mm	168570,3892	168401,8188	167896,6134	167057,1303	165720,6732	164063,4665	162094,7049	159825,379	157268,173
Resíduos Perigosos	5636,09204	5630,455948	5613,56458	5585,496757	5540,812783	5485,404656	5419,5798	5343,705683	5258,206392
Outros resíduos	42654,9693	42612,31434	42484,47739	42272,05501	41933,87857	41514,53978	41016,3653	40442,13619	39795,06201
Total	1408766,824	1407358,057	1403135,983	1396120,303	1384951,341	1371101,827	1354648,605	1335683,525	1314312,589

Tabela 13 Quantidade de Resíduos enviados para reciclagem resultante de diferentes tipos de tratamentos.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Unidades de incineração	15550	15182	12242	12854,1	13496,805	14171,64525	14880,22751	15624,23889	16405,45083	17225,72337	18087,00954
UTMB	16148	20814	19909	20904,45	21949,6725	23047,15613	24199,51393	25409,48963	26679,96411	28013,96231	29414,66043
Unidades de valorização orgânica (recolha selectiva de RUB)	0	25	283	297,15	312,0075	327,607875	343,9882688	361,1876822	379,2470663	398,2094196	418,1198906
Unidades TM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unidades de triagem (papel/cartão e embalagens de metal/plástico) e recolha selectiva multimaterial de restantes fluxos	457353	395015	365790	384079,5	403283,475	423447,6488	444620,0312	466851,0327	490193,5844	514703,2636	540438,4268

Tabela 14 RUB depositados em aterro em Portugal Continental.

Ano	Aterro	Fracção RUB em aterro	Fracção rejeitados depositados em aterro	Rejeitados depositados em aterro	% RUB depositados em aterro	RUB depositados em aterro
2010	3271825	0,53	0,61	370163	87,00001	1959867
2011	2961563	0,53	0,61	307366	78	1757122
2012	2537511	0,53	0,61	84927	62	1396686